

# **Desenvolvimento de um Sistema de Monitorização e Controlo Térmico de um Salão Fabril**

*Hélder Carlos Azevedo Ribeiro*

## **Dissertação do MIEM**

Orientador na Continental – ITA, S.A.: Engenheiro Joaquim Rocha

Orientador na FEUP: Prof. Joaquim Gabriel Magalhães Mendes



**Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto**  
**Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica**

Outubro 2016



*Um especial obrigado aos que ficam sempre comigo até ao fim*



## Resumo

A presente dissertação teve por base a necessidade da empresa, Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A., de solucionar o problema de controlo térmico de um dos salões da sua área fabril. No salão 2 do piso 0, responsável pela torcedura, existem mais de vinte máquinas, espalhadas pelos cerca de 7200 m<sup>2</sup>, que trabalham num regime quase ininterrupto produzindo grandes quantidades de calor.

As condições térmicas para o correto funcionamento das máquinas são asseguradas por ventiladores de exaustão. Para que o salão se mantenha equilibrado e fresco é, então, necessário compensar a exaustão com um sistema de insuflação de ar que, de momento, é controlado de forma manual, apresentando assim elevados gastos energéticos desnecessários e não compensando, de forma correta e eficiente, a exaustão do salão.

Os equipamentos responsáveis pela insuflação de ar fresco são quatro centrais de climatização adiabáticas presentes nos extremos do salão, com ventiladores de 37 kW e bombas de água de 30 kW. O sistema capta ar novo vindo do exterior e por arrefecimento evaporativo refresca e humidifica o ar antes de o libertar no salão. No entanto, quanto mais húmido for o ar de entrada, menor será a eficiência do processo e vice-versa, daí que o potencial de poupança para o sistema, com um controlo adequado é elevado, pois detetando condições exteriores ótimas do ar de entrada, as bombas de água não necessitam ser ligadas, não consumindo energia.

A estratégia de controlo dos ventiladores e bombas de recirculação de água foi definida do seguinte modo. A ventilação acompanhará a exaustão através da medição da pressão diferencial, comparando o salão com a vizinhança e impondo uma ligeira sobrepressão. Por seu lado, o arranque e paragem das bombas de água será controlado por sensores de temperatura e humidade interiores e exteriores, em que os primeiros informam da necessidade de humidificar e arrefecer o salão e os segundos averigam as condições do ar exterior.

Usou-se um autómato e uma interface homem-máquina para permitir visualizar as variações do sistema e alertar acerca das falhas nos sensores e variadores de frequência. Será ainda possível alterar os parâmetros de *set-point*, mas apenas para utilizadores com nível de acesso elevado.

Concluindo, o sistema de insuflação de ar fresco e húmido, no salão 2 do piso 0, após implementação do controlo projetado tornou-se mais eficiente e rentável, podendo oferecer um retorno de investimento inferior a 1 ano.

**PALAVRAS-CHAVE:** Centrais de Climatização, Arrefecimento Evaporativo, Controlo Temperatura, Eficiência Energética.

## Abstract

The presente thesis is based on a business need from the company, Continental – ITA, S.A. – to solve the thermal control problema in one of its manufacturing plant rooms. In the room 2 of the ground floor, responsible for the yarn twisting, there are more than twenty machines that work almost uninterruptedly creating a big amount of heat.

The thermal conditions for the proper functioning of the machines are carried out by exhaust fans. In order to make the room atmosphere balanced and fresh is then necessary to compensate exhaustion with an air insufflation system that, at the moment, it is controlled manually, generating unnecessary high energy costs and not compensating, correctly and efficiently, the exhaust system.

The equipment responsible for fresh air insufflation are four HVAC adiabatic systems present at the ends of the hall, with 37 kW fans and 30 kW water pumps. The system captures new air from the outside and by evaporative cooling cools and humidifies the air before releasing it in the hall. However, the wetter the incoming air is, the less efficient the process will be and the other way around, hence the potential savings for the system, with a proper control, are high, because with the detection of optimal conditions outside the air inlet, the water pumps don't need to be connected, not consuming energy.

It was then defined the control strategy of ventilators and water recirculation pumps. The ventilation will monitor the air exhaust by measuring the differential pressure, comparing the hall with the surroundings and imposing a slight overpressure. On the other hand, the start and stop of the water pumps will be controlled by temperature and humidity sensors on the inside and outside, in which, the first ones will inform about the necessity to humidify and cool the room, and the second ones will check the outdoor air conditions.

After defining which equipment to acquire, the automaton and the human-machine interface console were programmed concerning the draw ideology, which will allow

to visualize the system variations and detect/report failures in sensors and frequency inverters. It will also be possible to alter the set-point parameters, but only for users with high level access. The manual control ideology was kept, but it will only be allowed to users with a key for switching. This ensures that only a few people can change the system, promoting energy gain.

In conclusion, the cool and moist air blowing system, in room 2 of the ground floor, after implementation of the projected control system, will become more profitable and efficient, offering a return of investment less than 1 year.

**KEYWORDS:** HVAC evaporative cooling systems, temperature control, energy efficiency.



## Agradecimentos

A dissertação representa o ponto final de toda uma fase da minha vida, provavelmente, a mais preponderante e, portanto, reservo este espaço para agradecer a todos os que contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e profissional até agora, bem como para o culminar deste projeto.

Ao meu orientador, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Professor Joaquim Gabriel, pela confiança e insistência em mim, pelas correções e boa disposição e, acima de tudo, pela ajuda mesmo quando os temas saíam fora do seu alcance.

Ao meu orientador, pela Continental – ITA, S.A., Engenheiro Joaquim Rocha, pela aposta feita em mim, pelo apoio total e muito assertivo no projeto e por toda a introdução que me deu ao “mundo do trabalho em engenharia”.

Aos engenheiros, José Ricardo Osório e Rafael Castro, da Continental – ITA, S.A., pelo ritmo de trabalho e todas as lições, sem dúvida sempre prontos a “andar com isto prá frente”. A experiência que possuem foi preponderante na resolução de muitos problemas.

Aos engenheiros, Carlos Ribeiro e Vitor Naldinho, das empresas Omron e Auditene, que mais do que fornecedores de material e projetistas, cederam a sua sabedoria na elaboração das propostas e na execução do projeto.

Aos professores Francisco Freitas e Lucas da Silva, pela dedicação às funções que desempenharam/desempenham e influência positiva no meu percurso académico.

A todos os que dentro do local de trabalho, o tornaram um sítio aprazível e confortável, especialmente à Joana, ao Diogo, à Ana, à Diana, à Filipa e à Rita. Uma vitória muito mais pessoal do que profissional conviver com esta “boa gente”.

Aos meus pais, pela preocupação, por vezes exagerada, pela educação, pelo afeto, pelas oportunidades e por nunca me negaram nada que realmente precisasse.

À minha irmã, por ser a mais velha e abrir o caminho, pelo carinho e pelos conselhos e ao Ricardo Silvestre, pela animação e exemplo a seguir. Por estarem sempre prontos a apoiar-me.

À Ana Sofia Silva, por todos os momentos de motivação e concentração, mas também pela distração. Pelo equilíbrio e ajuda constantes.

A todos os meus amigos, claro, desde os mais boémios aos mais académicos, os da Associação de Estudantes e até aqueles que por diversas razões ficaram pelo caminho, mas, especialmente, àqueles que repetidamente insistem em se meter na minha vida e partilham a deles comigo, aos mais próximos nesta reta final, por tudo o que deram de si e por tornarem esta fase da vida a melhor.

Muito Obrigado.

## Índice de Conteúdos

Resumo .....	v
Development of a Thermic Control and Monitoring System of a Manufacturing Plant .....	<b>Erro!</b>
<b>Marcador não definido.</b>	
Abstract .....	vii
Agradecimentos .....	ix
Índice de Conteúdos .....	xi
Índice de Figuras .....	xiii
Índice de Tabelas .....	xvii
Lista de Abreviaturas e Símbolos .....	xix
1 Introdução .....	1
1.1 Introdução ao Projeto .....	1
1.2 Enquadramento Histórico da Continental – ITA, S.A. ....	2
1.3 Enquadramento do Caso de Estudo .....	3
1.4 Motivação .....	7
1.5 Organização da Dissertação .....	8
2 Sistemas de Climatização .....	9
2.1 Generalidades sobre AVAC .....	9
2.1.1 Equipamentos .....	9
2.2 Arrefecimento Evaporativo .....	12
2.2.1 Arrefecimento Evaporativo Indireto .....	14
2.2.2 Arrefecimento Evaporativo Direto .....	15
2.2.3 Arrefecimento Evaporativo Direto e Indireto .....	18
2.2.4 Tipos de Arrefecimento Evaporativo Direto .....	19
2.3 Centrais de Climatização C-ITA .....	24
2.3.1 Descrição Geral das Centrais de Climatização .....	25
3 Caso de Estudo .....	31
3.1 Fisionomia e Particularidades do Sistema .....	32
3.1.1 Câmara de Admissão de Ar .....	32
3.1.2 Câmara de Humidificação .....	33
3.1.3 Câmara do Ventilador .....	36
3.1.4 Conduitas de Ar .....	38
3.2 Consumos Energéticos das Centrais de Climatização .....	40
4 Novo Controlo das Centrais de Climatização .....	43

4.1	Potencial de Poupança Energética .....	44
4.2	Estratégia Geral de Controlo.....	47
4.2.1	Controlo do Ventilador Axial de Insuflação .....	48
4.2.2	Controlo da Bomba Centrífuga de Recirculação da Água .....	53
4.2.3	Sistema de Controlo .....	56
4.2.3.1	Parametrização dos Intervalos para a Bomba de Água .....	57
4.2.3.2	Parametrização dos Intervalos para o Ventilador de Insuflação .....	59
4.3	Equipamentos.....	59
4.3.1	Equipamentos de Campo.....	61
4.3.1.1	Transdutores de Pressão Diferencial .....	61
4.3.1.2	Sensores de Temperatura .....	62
4.3.1.3	Sensores de Humidade Relativa.....	63
4.3.2	Equipamento de Comando .....	64
4.3.3	Quadro Elétrico .....	68
4.3.4	Orçamentos .....	70
4.4	Programa de Controlo.....	72
4.5	Interface Homem-Máquina.....	79
4.6	Implementação Sistema .....	85
5	Conclusões .....	91
5.1	Satisfação de Objetivos .....	91
5.2	Conclusões Gerais.....	91
5.3	Trabalhos Futuros .....	93
6	Bibliografia .....	95
7	ANEXOS .....	99
ANEXO A:	Atomizadores Utilizados .....	100
ANEXO B:	Separadores de Gotas Utilizados .....	101
ANEXO C:	Distribuição das Grelhas de Insuflação.....	102
ANEXO D:	Gráficos T&H Registadas .....	103
ANEXO E:	Transdutor Pressão Diferencial .....	105
ANEXO F:	Sensor de Humidade Sauter.....	106
ANEXO G:	Glossário Técnico .....	107

## Índice de Figuras

Figura 1.1 – Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A [2].....	2
Figura 1.2 – Constituição de um pneu Continental. 1: <i>Tread</i> ; 2: <i>Jointless cap plies</i> ; 3: <i>Steel-cord belt plies</i> ; 4: <i>Textile cord ply</i> ; 5: <i>Inner liner</i> ; 6: <i>Side Wall</i> ; 7: <i>Bead reinforcement</i> ; 8: <i>Bead apex</i> ; 9: <i>Bead Core</i> [4].....	4
Figura 1.3 – Diagrama do processo de produção do impregnado de <i>nylon</i> . ....	5
Figura 1.4 – Vista parcial do salão 2 piso 0 (torcedura) .....	6
Figura 2.1 – Diagrama sequencial dos equipamentos de AVAC.....	9
Figura 2.2 – Cortinas de junco [8].....	12
Figura 2.3 - Arrefecimento evaporativo indireto por placa (a) e tubo (b) [10]. ....	15
Figura 2.4 - Funcionamento ilustrativo de um painel evaporativo direto [12]. ....	15
Figura 2.5 – Sistema de arrefecimento evaporativo direto [14]. ....	16
Figura 2.6 – Balanço energético do arrefecimento evaporativo [15]. ....	16
Figura 2.7 – Representação do processo de arrefecimento evaporativo direto num diagrama psicométrico [17].....	17
Figura 2.8 – Sistema com arrefecimento evaporativo indireto e direto [10]. ....	18
Figura 2.9 – Representação do processo combinado de arrefecimento evaporativo indireto e direto num diagrama psicométrico [9].....	19
Figura 2.10 – Exemplo de painéis evaporativos fibrosos [18]. ....	20
Figura 2.11 – Exemplos de painéis evaporativos rígidos, a) real, b) esquema ilustrativo [19]. ....	21
Figura 2.12 – Arrefecedor evaporativo presente na C-ITA, com identificação dos painéis rígidos. ....	21
Figura 2.13 – Exemplos de atomizadores utilizados em lavadores de ar. [20].....	22
Figura 2.14 – Tabela de eficiência de humedificação do sistema de atomização nos lavadores de ar [11]. ....	22
Figura 2.15 – Planta base do salão 2 piso 0 (torcedura) da C-ITA. Lado esquerdo encontram-se as centrais 1 e 2 e do lado direito a 3 e 4 [24]. ....	24
Figura 2.16 – Esquema de uma das centrais de climatização presente na C-ITA. em cima: vista em planta; em baixo: vista em corte.....	25
Figura 2.17 – Registos motorizados de passagem de ar. 1: registo de entrada; 2: registo de recirculação. ....	27
Figura 3.1 – Representação em Solidworks da central de climatização 1 – insuflação. ....	31
Figura 3.2 – Representação 3d da câmara de admissão de ar novo de uma central....	32

Figura 3.3 – Representação 3d da câmara de humidificação e respetivo tanque de recirculação de água. ....	33
Figura 3.4 – Câmara de humidificação: 1º separador de gotas, 1ª fileira de atomizadores e representação da recirculação de água. ....	34
Figura 3.5 – Separadores de gotas das câmaras de humidificação, com respetivos espaçadores. ....	35
Figura 3.6 – Representação 3d do ventilador de insuflação e respetiva conduta de ligação. ....	36
Figura 3.7 – Imagem real do ventilador de insuflação da central de climatização nº 1. ....	37
Figura 3.8 – Representação 3d do conjunto completo de uma central de climatização, com ênfase às condutas de insuflação que percorrem o sótão do edifício. ....	38
Figura 3.9 – <i>Layout</i> da distribuição de condutas de insuflação ao longo dos 120 metros de desvão do edifício. ....	40
Figura 4.1 – Diagrama representativo da metodologia utilizada. ....	43
Figura 4.2 – Testo 174 H - Mini <i>data logger</i> de temperatura e humidade. ....	45
Figura 4.3 – Gráfico obtido para as temperaturas exteriores em °C e para a humidade relativa em %HR, ao longo do mês de dezembro de 2015. ....	45
Figura 4.4 – <i>Layout</i> representativo da extração de ar pelos torcedores no salão 2 piso 0. A vermelho indicam-se os valores máximos de caudal em m³/h. ....	48
Figura 4.5 – Representação de todas as ligações, com passagem de ar, do salão da torcedura à sua vizinhança. ....	50
Figura 4.6 – Esquema representativo da posição dos transdutores de pressão (círculos magenta) e das respetivas tomas de medição, positivas e negativas. ....	52
Figura 4.7 – Diagrama representativo do controlo on/off da bomba centrífuga de recirculação de água das centrais de climatização. ....	54
Figura 4.8 – <i>Layout</i> do posicionamento de sondas de temperatura e humidade para o sistema de insuflação de ar fresco. ....	55
Figura 4.9 – Diagrama temporal do <i>output</i> para bomba, com temporização de ligar/desligar. ....	57
Figura 4.10 – Diagrama temporal do <i>output</i> para bomba, com eliminação da ocorrência de <i>on/off</i> sistemático. ....	58
Figura 4.11 – Lista de material existente no sistema de insuflação. ....	60
Figura 4.12 – Quadro elétrico de comando de uma central de climatização. ....	60
Figura 4.13 – Transdutor de pressão diferencial Kimo CP111-AO. Lado direito mostra configuração dos <i>dip switches</i> . ....	62
Figura 4.14 – Foto da termoresistência escolhida. ....	63
Figura 4.15 – Ilustração do PLC CJ2M e identificação das características principais [28]. ....	64

Figura 4.16 – Folha de cálculo auxiliar para determinação da fonte de alimentação ideal. ....	67
Figura 4.17 – Esquema elétrico de alimentação do sistema.....	70
Figura 4.18 – Montagem da <i>rack</i> de controlo.....	72
Figura 4.19 – Página de tratamento de entradas digitais e analógicas. ....	73
Figura 4.20 – Conversão da entrada de pressão para leitura em pascal.....	73
Figura 4.21 – Secção do correspondente ao controlo automático do ventilador da CC1. ....	75
Figura 4.22 – Secção correspondente à primeira parte do controlo automático dada CC1. ....	76
Figura 4.23 – Secção correspondente à parte final do controlo automático da bomba da CC1. ....	77
Figura 4.24 – Secção correspondente às falhas nas entradas da primeira carta analógica. ....	79
Figura 4.25 – Janela de programação responsável pela definição do modo de comunicação.....	80
Figura 4.26 – Janela principal da consola (modo visualização). 1 – Cabeçalho de identificação da empresa; 2 – Faixa de seleção rápida de janelas; 3 – Identificação do login do administrador; 4 – Data e hora; 5 – Leitura dos valores dos sensores exteriores, 6 – Leitura dos valores correspondentes a cada central.....	81
Figura 4.27 – Janela de visualização dedicada à central 1. ....	82
Figura 4.28 – Janela de visualização dedicada à central 1, com exemplo de alterações por parte do administrador e proibição por parte da HMI.....	83
Figura 4.29 – Janela de layout 3: representação da distribuição das grelhas de insuflação.....	84
Figura 4.30 – Janela de etiquetas de endereço, com configuração de algumas falhas. ....	84
Figura 4.32 – QE instalado. Lado esquerdo – exterior com sinalização de presença das 3 fases e analisadores de energia ativos; Lado direito – Interior do quadro em fase de montagem. ....	86
Figura 4.31 – Equipamentos de medição CC 1. Esquerda – Transdutor de pressão; Centro – PT100; Direita – Sonda de humidade. ....	86
Figura 4.33 – QE manual em funcionamento automático. ....	87
Figura 4.34 – QE manual com HMI na página da CC1. ....	88
Figura 4.35 – HMI em funcionamento; Lado esquerdo – Página principal; Lado Direito – Página de alarmes.....	89





## Índice de Tabelas

Tabela 1 – Tabela de equipamentos primários de AVAC.....	10
Tabela 2 – Equipamentos auxiliares de um sistema de climatização.....	11
Tabela 3 – Equipamentos intermédios e de regulação e acessórios de um sistema de climatização. ....	11
Tabela 4 – Equipamentos terminais de um sistema de climatização. ....	12
Tabela 5 – Sistema de arrefecimento evaporativo em relação ao convencional. ....	14
Tabela 6 – Características dos ventiladores de exaustão. ....	27
Tabela 7 – Características do motor e bomba de água das câmaras de humidificação. ....	29
Tabela 8 – Características dos ventiladores de insuflação. ....	30
Tabela 9 - Descrição, dimensões e área total da rede de condutas de insuflação. ....	39
Tabela 10 – Registo dos consumos de energia das centrais de climatização no ano de 2015. ....	41
Tabela 11 – Tabela do número de horas para determinadas temperaturas e humidades, durante o mês de dezembro de 2015. ....	46
Tabela 12 – Lista de pontos para sinais analógicos do sistema.....	65
Tabela 13 – Lista de pontos para sinais digitais do sistema. ....	66
Tabela 14 – Lista de orçamentos para aquisição de material para o sistema. ....	71



## Lista de Abreviaturas e Símbolos

### *Lista de Abreviaturas*

AVAC	Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado
C-ITA	Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A.
CC	Central de Climatização
CPU	<i>Central Processing Unit</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
HMI	<i>Human Machine Interface</i>
HR	Humidade Relativa
IA	Índice de Aplicabilidade do potencial do arrefecimento evaporativo
IEC-28	Norma Internacional para a Resistividade do Cobre
IP	Índice de Proteção
ITA	Indústria Têxtil do Ave
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
PLC	<i>Programmable Logic Controller</i>
QE	Quadro Elétrico
QDF	Quadro de Distribuição de Força
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
PT	Posto de Transformação
RTD	<i>Resistive Temperature Detectors</i>
UPAQ	Unidade de Produção de Água Quente
UPAR	Unidade de Produção de Água Refrigerada
UTA	Unidade de Tratamento de Ar

*Lista de Símbolos*

$U$	Coeficiente Global de Transferência de Calor
$L$	Comprimento
$\varepsilon$	Eficiência
$Z$	Impedância
$IA$	Índice de Aplicabilidade
$I_{cc}$	Índice de Curto-Circuito
$P_{bomba}$	Potência da Bomba
$p_{m\acute{a}x}$	Pressão Máxima
$p_{m\acute{i}n}$	Pressão Mínima
$R$	Resistência
$\rho$	Resistividade
$rpm$	Rotações por Minuto
$S$	Secção
$T_{BH}$	Temperatura de Bolbo Húmido
$T_{BS}$	Temperatura de Bolbo Seco
$U_f$	Tensão de Alimentação
$W$	<i>Work</i>

# 1 Introdução

## 1.1 Introdução ao Projeto

O desenvolvimento do setor têxtil tem sido, ao longo dos anos, impulsionado por uma crescente automatização dos equipamentos, que se traduz num aumento da produtividade e qualidade de produção.

A C-ITA é uma empresa do setor têxtil com mais de sessenta e cinco anos, que foi acompanhando o seu crescimento com a automatização das suas máquinas e sistemas.

O Grupo Continental, em Portugal (Continental Mabor, Continental Pneus, Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A., Continental Lemmerz e Continental Teves), tem no seu quadro permanente 2243 colaboradores e o volume total de negócios ascendeu, em 2012, a 1040 milhões de euros. Com vendas superiores a 32,7 mil milhões de euros em 2012, a Continental está entre os maiores fornecedores do setor automóvel em todo o mundo [1].

A Continental – Indústria Têxtil do Ave, S.A. (C-ITA), assim como todas as outras empresas do grupo, tem a cada instante um conjunto de parâmetros que necessita de controlar, não só a nível de máquinas, como a nível de condições térmicas, para assegurar a qualidade dos produtos e a comodidade dos trabalhadores.

No salão 2 do piso 0 da C-ITA, salão principal da torcedura, as condições térmicas para o correto trabalho das máquinas são asseguradas por ventiladores de exaustão. Para que o salão se mantenha equilibrado e fresco é, então, necessário compensar a exaustão com um sistema de insuflação de ar que, de momento, é controlado de forma manual, apresentando, assim, elevados gastos energéticos desnecessários e não compensando de forma correta e eficiente a exaustão do salão. A presente dissertação

terá, então, como objetivo automatizar o sistema da insuflação de ar no salão, para que o equilíbrio se mantenha de forma autónoma e mais rentável.

## 1.2 Enquadramento Histórico da Continental – ITA, S.A.

A C-ITA, representada na figura 1.1, foi fundada oficialmente a 16 de dezembro de 1948 no cartório notarial de Santo Tirso. Iniciou a sua atividade a 4 de agosto de 1950, com a entrada em funcionamento do primeiro torcedor de fio, e a 20 de agosto, desse ano, entregou à Manufatura Nacional de Borracha, Mabor, as primeiras amostras de cordas para pneus. Nesta fase inicial, a empresa denominava-se por INTEX e produzia telas de algodão para fabrico de pneus.



Figura 1.1 – Continental – Indústria Têxtil do Ave S.A [2].

Em 1958, a principal matéria-prima na construção de pneus deixa de ser o algodão e passa a ser utilizado o *rayon* de alta tenacidade, isto impôs à INTEX a primeira grande mudança tecnológica e de processos. A mudança implicava um acabamento final nos tecidos de *rayon*, (*dip and dry*), para garantir a adesão dos compostos de borracha no tecido.

Em 1962/63, eram impostas novas mudanças na matéria-prima, com base em produtos de síntese, nomeadamente, a poliamida (*nylon*) de alta tenacidade, como base dos tecidos de reforço para a construção de pneus. Novamente, a INTEX viu-se obrigada a alterar as técnicas de fabrico ao nível da torcedura e tecelagem, esta

mudança decorreu em 3 fases, sendo a última fase responsável por completar o esquema, Torcedura/Tecelagem/Acabamentos.

Na década de 70/80, a C-ITA levou a cabo um ambicioso projeto de inovação tecnológica e aumento da capacidade produtiva da fábrica, que envolveu, entre outras medidas, a renovação da secção de torcedura e a instalação de uma segunda máquina de impregnar.

Em 1988, o Banco Borges & Irmão vendeu ao Grupo Amorim a sua participação na INTEX, passando a partir desse momento a ser designada de Indústria Têxtil do Ave (ITA).

Nos anos seguintes, foi desenvolvido um esforço para que a empresa pudesse obter a certificação do Sistema de Gestão da Qualidade e do Sistema de Gestão Ambiental, e em 1993, a C-ITA foi, de facto, uma das primeiras empresas têxteis a nível nacional a obter a norma ISO9002 (Sistemas de qualidade – Modelo para garantia de qualidade em produção e instalação) e, em 1998, a segunda empresa portuguesa a ser certificada pela APCER, segundo a norma ISO14001 (Sistemas de gestão ambiental – Especificação e diretrizes para uso).

No final da década de 90, início do século XXI, iniciou-se um novo ciclo de investimento, com vista à modernização das áreas de torcedura, tecelagem e impregnação, que aumentou significativamente a capacidade de produção para 14000 ton/ano.

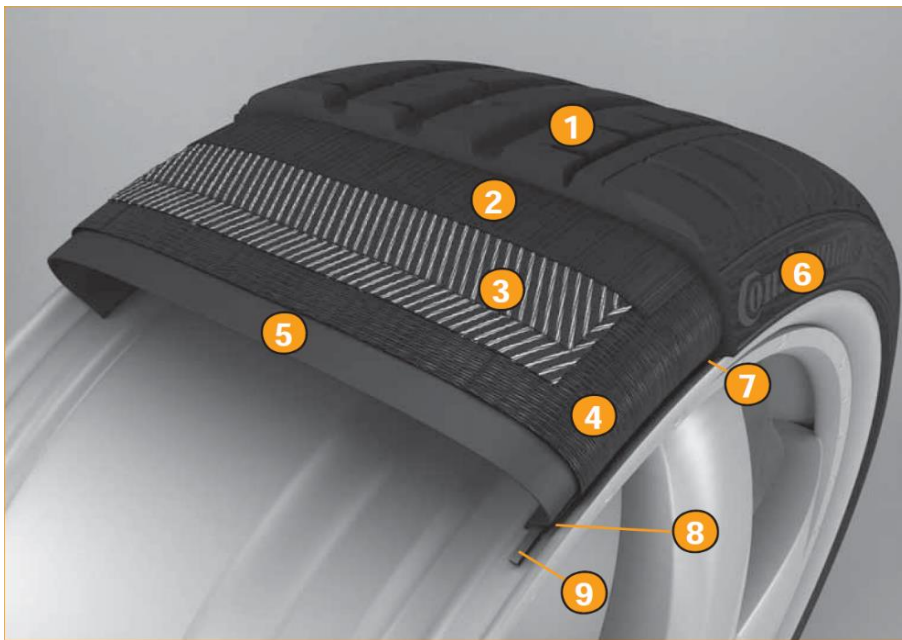
Atualmente, a C-ITA compreende uma área total de 52329 m<sup>2</sup> dos quais 30153 m<sup>2</sup> são de área coberta, conta com 152 colaboradores permanentes e possui uma produção de 14000 ton/ano de “tecidos” e “corda” para pneus, usando como matérias-primas o *rayon*, *nylon*, poliéster, e aramida [3].

### 1.3 Enquadramento do Caso de Estudo

A Continental Mabor é uma empresa de sucesso, com projeção ambiciosa na produção de pneus de alta qualidade e imbatível em recordes de manufatura do seu

produto, sendo um dos maiores fabricantes de pneus *Premium* para veículos médios [1].

Embora um pneu tenha uma aparência bastante simples, se forem percorridas todas as suas fases de produção é possível verificar que existe uma realidade interna bem mais complexa (figura 1.2). Para além de várias borrachas naturais e sintéticas existem muitos outros materiais que fazem parte do pneu, como é o caso dos fios têxteis (poliéster, *rayon*, aramida, etc.).

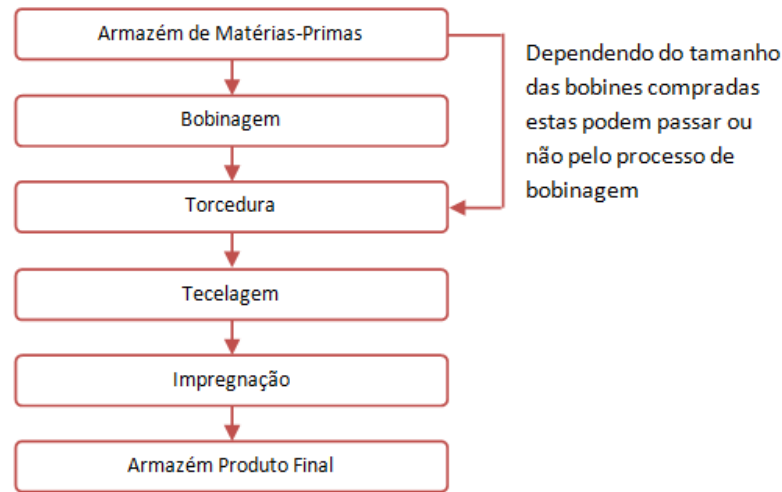


**Figura 1.2 – Constituição de um pneu Continental. 1: *Tread*; 2: *Jointless cap plies*; 3: *Steel-cord belt plies*; 4: *Textile cord ply*; 5: *Inner liner*; 6: *Side Wall*; 7: *Bead reinforcement*; 8: *Bead apex*; 9: *Bead Core* [4].**

A C-ITA é a empresa, do grupo Continental em Portugal, que se dedica à impregnação de tela e corda para aplicações industriais, maioritariamente na indústria de pneus, como referido acima. Atualmente, as principais matérias-primas utilizadas são o *rayon*, poliéster e o *nylon* [3].



Todas estas matérias-primas passam por diversos processos antes de chegarem ao seu estado final. Na figura 1.3 encontra-se presente um exemplo referente ao processo de produção de uma destas matérias-primas desenvolvidas pela empresa.



**Figura 1.3 – Diagrama do processo de produção do impregnado de *nylon*.**

Se o produto final for corda impregnada, então, o processo não passa pela tecelagem e termina na máquina *Single-End*, caso contrário, a tela é feita nos teares e impregnada na máquina *Zell*.

Devido à dimensão da empresa e à divisão física do edifício, muito por culpa do seu processo produtivo, é possível distinguir 4 grandes áreas:

- **Salão 1 Piso 0:** Comporta os teares e a secção das malhas (secção mais recente da empresa);
- **Salão 1 Piso -1:** Composto por torcedores;
- **Salão 2 Piso 0:** Comporta um elevado número de torcedores e algumas bobinadeiras, sendo referido como o salão da torcedura;
- **Salão 2 Piso -1:** Constituído pelo armazém de produto acabado e em verde, alguns torcedores, máquina de impregnar corda *Single-End* e ligação com o edifício da máquina de impregnar tela, *Zell*.

Devido à variedade de processos e ao elevado número de equipamentos essenciais para a realização do produto final, torna-se necessário eliminar os ganhos caloríficos do interior do edifício para que o conforto térmico, a produtividade e a eficiência dos

colaboradores não sejam afetados, bem como a qualidade e as propriedades do produto em laboração.

De momento, praticamente todos os salões possuem algum tipo de sistema de climatização, embora apenas em dois deles com alguma significância, como é o caso do Salão 2 Piso 0, onde se encontram quatro Centrais de Climatização (CC) adiabáticas e o Salão 1 Piso -1, que possui três equipamentos de arrefecimento evaporativo.

Este estudo consistiu numa análise energética de um dos salões da empresa, o mais crítico a nível da temperatura, para uma otimização energética e automatização das quatro CC adiabáticas, com aproximadamente 45 anos de idade. Como referido anteriormente, estas centrais são responsáveis pela exaustão e insuflação de ar dentro do salão 2 piso 0, visível na figura 1.4.



**Figura 1.4 – Vista parcial do salão 2 piso 0 (torcedura)**

As CC foram sofrendo diversas alterações e melhorias ao longo dos anos, sendo a de maior destaque a individualização das exaustões a nível das máquinas. Desta forma, a parte de controlo automático presente nas centrais começou a ficar desatualizada e mesmo fora de contexto, sendo cada vez mais utilizado o controlo manual das mesmas, por forma a separar o controlo da exaustão do da insuflação.

De momento, a exaustão de ar já se desenvolve de forma automática, ao contrário do que se sucede com a insuflação. O presente estudo apenas se debruçou nesta última parte das CC, focando-se nas centrais 1 e 2, devido aos orçamentos serem elevados e a instalação de equipamentos ser mais fácil de executar nesta parte. Posteriormente, o objetivo será replicar o sistema para as restantes CC.

A automatização do sistema é imperativa para que se realize uma monitorização e controlo ajustados ao volume de ar removido a cada instante sem que seja necessário a atuação manual e consequente perda energética, resultado dos valores fixos de frequência nos variadores.

Por fim, a refrigeração e humidificação do ar de admissão, através da bomba centrífuga de água e atomizadores, será também automatizada para mais uma vez, resultarem ganhos energéticos associados ao correto arranque e paragem das bombas.

Como estas modificações, pretende-se ainda o aumento da qualidade de trabalho, com um conforto térmico devidamente ajustado a cada instante, mesmo em períodos noturnos, o que não acontece de momento.

## 1.4 Motivação

No salão da torcedura, o controlo do sistema de exaustão foi modificado e automatizado, separando-se da insuflação que passou a funcionar em modo manual, sem qualquer *feedback* da situação real das variações do salão.

Com a separação dos sistemas tornou-se necessário que a insuflação acompanhe a exaustão das máquinas por forma a ser resposto o ar removido do salão.

O objetivo do projeto, e aproveitando as boas relações que a C-ITA mantém com a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP), foi proposto um tema de dissertação que tem como base a criação de um sistema de monitorização e controlo automático da insuflação de ar na planta fabril, por forma a esta poder, finalmente, ter a compensação de ar necessária de forma eficiente.

O meu interesse por poder enveredar, desde já, numa vertente mais prática e num ambiente industrial aliado ao facto da própria proposta ser aliciante, levou-me a escolher este tema como o meu projeto de dissertação.

## 1.5 Organização da Dissertação

- **Capítulo 1**

No primeiro capítulo da dissertação é feita a introdução geral ao tema, começando com uma referência histórica da empresa em que se desenrolou o estudo e abordando o objetivo e resultados esperados para este projeto.

- **Capítulo 2**

Neste capítulo são abordadas as características gerais dos sistemas de AVAC existentes na empresa. Elabora-se também um enquadramento histórico e o método de arrefecimento utilizado no sistema do projeto.

- **Capítulo 3**

Este capítulo começa por esmiuçar as particularidades das CC do salão da torcedura, com o auxílio do *software SolidWorks*. Posteriormente, o potencial energético e o propósito do tema são destacados.

- **Capítulo 4**

Todos os requisitos para o controlo automático do sistema são explorados neste capítulo bem como a filosofia do controlo. Os equipamentos e programas utilizados para a realização do projeto são, também, apresentados nesta secção.

- **Capítulo 6**

Esta secção sumariza os resultados obtidos deste trabalho. Conclusões pessoais e ideias a realizar de futuro são também expostos neste capítulo.

## 2 Sistemas de Climatização

### 2.1 Generalidades sobre AVAC

O Sistema Aquecimento, Ventilação e Ar Condicionado (AVAC) refere as quatro funções principais destinadas ao conforto e qualidade do ar interior, ou seja, permite o controlo e parametrização dos valores interiores de temperatura, humidade, qualidade do ar e a sua renovação.

A classificação dos sistemas AVAC depende do processo de tratamento do ar interior, em função do número de transformações termodinâmicas que podem ocorrer: aquecimento, arrefecimento, humidificação e desumidificação.

Os sistemas AVAC têm, na sua constituição, uma variedade de equipamentos e componentes que interagem entre si, de modo a atingirem o seu propósito na climatização de um espaço. Na figura 2.1 encontra-se esquematizada a organização de todos os equipamentos de uma forma geral.



Figura 2.1 – Diagrama sequencial dos equipamentos de AVAC.

#### 2.1.1 Equipamentos

Os equipamentos primários de produção de energia térmica, regra geral, encontram-se na denominada zona técnica, por exemplo em coberturas, no exterior do edifício e são os responsáveis pela obtenção das condições necessárias do fluido

primário de operação. Estes equipamentos também se podem situar na zona a climatizar, no caso de se tratar de um sistema individual ou modular [5].

A tabela 1 mostra, sucintamente, os equipamentos inseridos nesta categoria, no entanto, os equipamentos primários podem ser do tipo expansão direta, ou do tipo de água, tal como a Unidade de Produção de Água Refrigerada (UPAR), Unidade de Produção de Água Quente (UPAQ) e Coletor Solar.

**Tabela 1 – Tabela de equipamentos primários de AVAC.**

<b>Equipamentos Primários</b>	
<b>Expansão Direta</b>	VRF
	<i>Split e Multi Split</i>
	Monobloco
<b>UPAR</b>	<i>Chiller</i> de Compressão e Absorção
	<i>Chiller</i> /Bomba de Calor
<b>UPAQ</b>	Caldeira
	Bomba de calor
<b>Coletor Solar</b>	

Os equipamentos auxiliares, tabela 2, podem estar associados aos equipamentos produtores de energia térmica de modo a completarem a sua função (arrefecedores evaporativos, unidades de tratamento de ar) ou a otimizarem o seu desempenho (por exemplo bancos de gelo, depósitos de inércia). Por outro lado são também associados à distribuição de energia térmica (bombas e ventiladores).

Existem também, equipamentos contidos neste grupo que nem sempre estão associados a um equipamento primário, fazendo parte da componente principal. São vários os exemplos de sistemas climatizados por Unidades de Tratamento de Ar (UTA) e por Unidades de Arrefecimento Evaporativo.

**Tabela 2 – Equipamentos auxiliares de um sistema de climatização.**

<b>Equipamentos Auxiliares</b>
Ventiladores
Bombas
Unidades de Tratamento de ar
Unidades de Arrefecimento Evaporativo
Termo acumulação (Bancos de Gelo)
Reservatórios de Inércia

Os equipamentos intermédios, expostos na tabela 3, encontram-se, como o nome indica, entre os equipamentos primários e os equipamentos terminais, sendo os responsáveis por distribuir e regular os fluidos primários até aos equipamentos finais, tendo na sua constituição uma variedade de acessórios de regulação que asseguram as condições de funcionamento dos equipamentos e sistemas.

Estes equipamentos, que efetuam o transporte do fluido térmico, servem para garantir a elevação da pressão, necessária para vencer as perdas de carga devidas ao atrito ao longo do circuito e às diferenças de pressão diferencial [6].

**Tabela 3 – Equipamentos intermédios e de regulação e acessórios de um sistema de climatização.**

<b>Equipamentos Intermédios</b>
Condutas
Válvulas
Registos
Filtros
Vasos de Expansão
Atenuadores Acústicos
Sensores e Reguladores
Sondas, Termóstatos e Hidróstatos
Controlos e Comandos das Instalações

Por fim, os equipamentos terminais, descritos na tabela 4, encontram-se próximos ou mesmo nos locais a intervir e são os responsáveis por receber os fluidos primários

e direcioná-los para as zonas a climatizar, para que se possa tratar o ar interior e eliminar a carga térmica do local.

**Tabela 4 – Equipamentos terminais de um sistema de climatização.**

<b>Equipamentos Terminais</b>
Ventilo-convetores
Tetos, Pavimentos e Painéis Radiantes
Torres de Arrefecimento
Radiadores
Vigas e Pilares Arrefecidos
Difusores e Grelhas

De um modo geral, esta é a constituição global do AVAC, no entanto, no salão em estudo, o método utilizado é o Arrefecimento Evaporativo e, como tal, será explorado um pouco mais este tema.

## **2.2 Arrefecimento Evaporativo**

O arrefecimento evaporativo é um processo natural, verificado na “natureza” em inúmeras situações, sendo uma delas a sensação de ar fresco, por exemplo, ao aproximar de uma cascata, ou quando se sai de uma piscina e se tem a sensação de frio ou ainda, quando se lava o rosto com água, entre outras [7].

No Antigo Egipto eram humedecidas e utilizadas nas janelas das casas, cortinas de junco, como uma das primeiras formas de Arrefecimento Evaporativo. A figura 2.2 demonstra os aspeto destas cortinas, material utilizado nas janelas referidas.



**Figura 2.2 – Cortinas de junco [8].**



Genericamente, arrefecimento evaporativo ocorre quando algum meio ou produto cede calor para que a água evapore. A evaporação de um produto qualquer é um processo endotérmico, isto é, precisa de calor para se realizar. Esta transferência de calor pode ser forçada (quando fornecemos o calor) ou induzida (quando criamos condições para que o produto retire calor do meio). No caso do arrefecimento evaporativo de ar, este cede energia (calor) para que a água evapore, resultando numa corrente de ar mais fria à saída do arrefecedor.

Todo este processo é energeticamente eficiente, não poluente, natural e com custo efetivo muito baixo, sendo utilizado em diversas aplicações. Consegue também reduzir a temperatura e elevar a humidade do ar através da transferência de calor e massa, entre o ar atmosférico exterior e a água [9].

O ar atmosférico é uma mistura de ar seco e vapor de água. Para uma dada condição de temperatura e pressão, esta mistura tem capacidade de conter uma quantidade máxima de vapor de água (ar saturado = 100% de Humidade Relativa - HR).

Na prática, esta condição de ar saturado só é observada durante e logo após a ocorrência de chuvas. Normalmente, o ar encontra-se insaturado ( $HR < 100\%$ ) e, portanto, apto a absorver mais humidade. Quanto mais seco o ar (menor HR), maior a quantidade de vapor de água que pode ser absorvida. Para que haja esta absorção é necessário que a água utilizada passe da fase líquida para a fase vapor. Esta mudança de fase requer, como referido anteriormente, uma quantidade de energia que é retirada do meio, neste caso o ar, o que faz baixar a sua temperatura.

Na tabela 5 são apresentadas as principais vantagens associadas ao arrefecimento evaporativo, em comparação com os sistemas mecânicos de climatização mais usuais.

**Tabela 5 – Sistema de arrefecimento evaporativo em relação ao convencional.**

<b>Arrefecimento Evaporativo</b>	<b>Arrefecimento Convencional</b>
Funciona com 100% de ar novo	Funciona sempre com o mesmo ar (recirculado)
Aumenta a renovação de ar e a qualidade através da lavagem	Não renova o ar interior
Elimina odores e fumos	Trabalha sempre com o ar “viciado”
Promovem o aumento da HR% do ar	Baixam o teor de HR%
Quanto maior for a temperatura exterior, maior será o rendimento do arrefecedor evaporativo	Quanto maior a temperatura, menor será o rendimento do sistema tradicional equipado com o compressor frigorífico
Ecológicos e seguros pois não utilizam fluido frigorígeno	Geralmente utilizam fluido frigorígeno
Baixo custo de instalação, operação e manutenção;	Mais complexos
Eficiente energeticamente devido ao seu reduzido consumo de energia	Maior consumo de energia

O arrefecimento evaporativo pode ser dividido em dois métodos, o direto e o indireto, e que podem operar independentemente, ou mesmo associados entre eles ou a equipamentos de arrefecimento mecânicos.

### **2.2.1 Arrefecimento Evaporativo Indireto**

O uso do arrefecimento evaporativo direto em climas quentes e húmidos não é aconselhável, e nestas circunstâncias utiliza-se o método indireto. Este método introduziu um avanço na tecnologia do arrefecimento evaporativo de ar, pois o ar ambiente/exterior é “encaminhado” por alguns canais e mantido separado do ar húmido [10].

Sistemas de arrefecimento evaporativo indireto poupam entre 60 a 75% do custo total de operação, quando comparados ao da refrigeração mecânica, para produzir o mesmo efeito de arrefecimento. Nas imagens abaixo, podem-se observar dois tipos de sistemas de arrefecimento evaporativo indireto, por placa (figura 2.3 a) e por tubo (figura 2.3 b) [11].

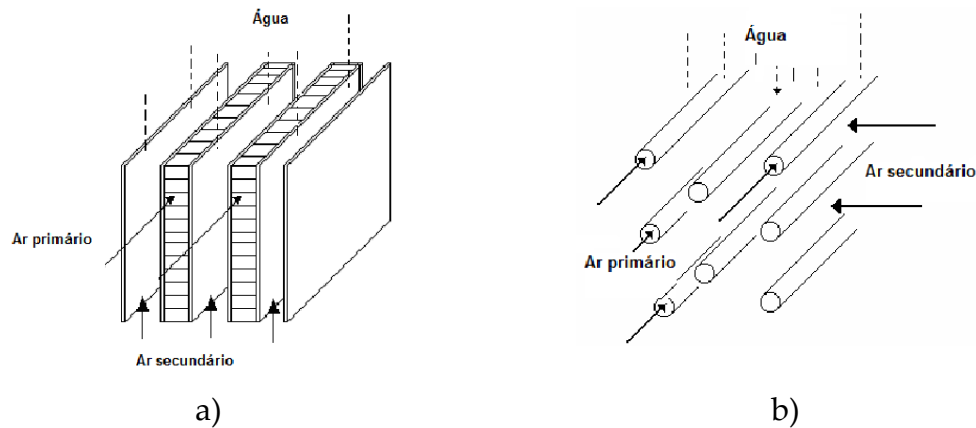


Figura 2.3 - Arrefecimento evaporativo indireto por placa (a) e tubo (b) [10].

Neste processo, o ar que será utilizado para controlar o ambiente interior (ar primário), transfere calor ou para uma corrente de ar secundária ou para um líquido, que foram arrefecidos por um processo evaporativo. Consequentemente, a entalpia do ar do lado seco é reduzida com a redução adiabática da temperatura do arrefecimento evaporativo direto.

### 2.2.2 Arrefecimento Evaporativo Direto

No arrefecimento evaporativo direto, o ar ambiente/exterior é forçado a atravessar uma superfície sólida, húmida e porosa (figura 2.4), designada por painel evaporativo, ou então a passar por um sistema de atomização que pulveriza água no ar através de micro gotículas do tipo neblina, que são difundidas homogeneamente, devido ao caudal de ar imposto pelo ventilador de insuflação.

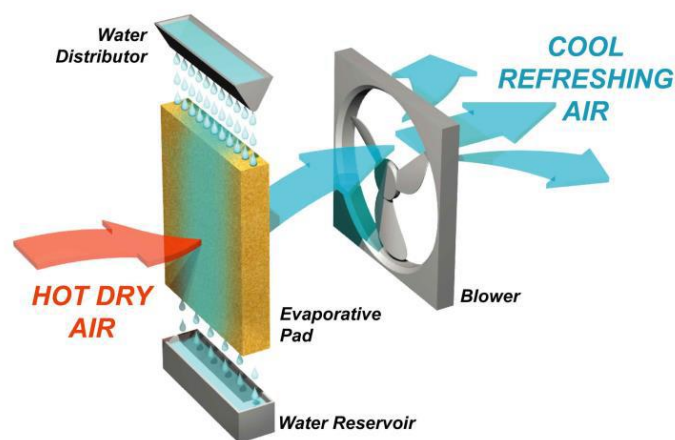


Figura 2.4 - Funcionamento ilustrativo de um painel evaporativo direto [12].

O ar, ao passar por este sistema, faz com que o calor seja transferido entre o ar exterior e a água, absorvendo o máximo possível de água, conseguindo baixar a temperatura de bolbo seco e aumentar a humidade absoluta, cuja limitação da absorção de água, por parte do ar, depende da temperatura do bolbo húmido à entrada do sistema. Neste processo, ocorre, essencialmente, a conversão de calor sensível em calor latente [13].

O esquema tipo do arrefecimento evaporativo directo é exibido na figura 2.5, cujo balanço energético associado é apresentado na figura 2.6.

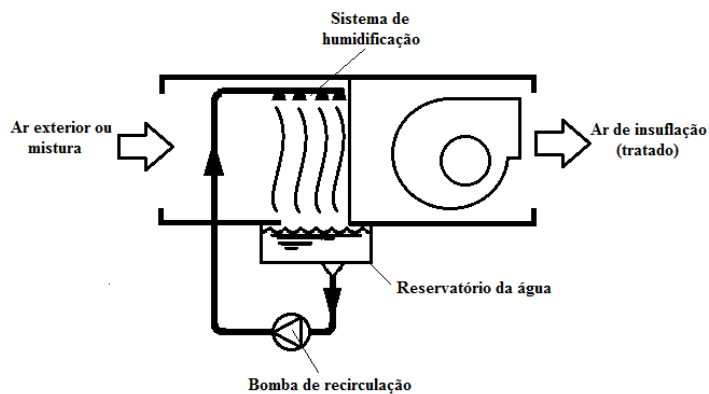


Figura 2.5 – Sistema de arrefecimento evaporativo directo [14].

Uma elevada temperatura e baixa humidade relativa do ar exterior favorece a sua eficiência, devido ao facto de o ar conseguir absorver uma maior quantidade de água. No entanto, uma elevada humidade relativa exterior prejudica, significativamente, a capacidade de arrefecimento, pois a absorção de água por parte do ar é limitada, contribuindo para a fraca diminuição da temperatura do ar.

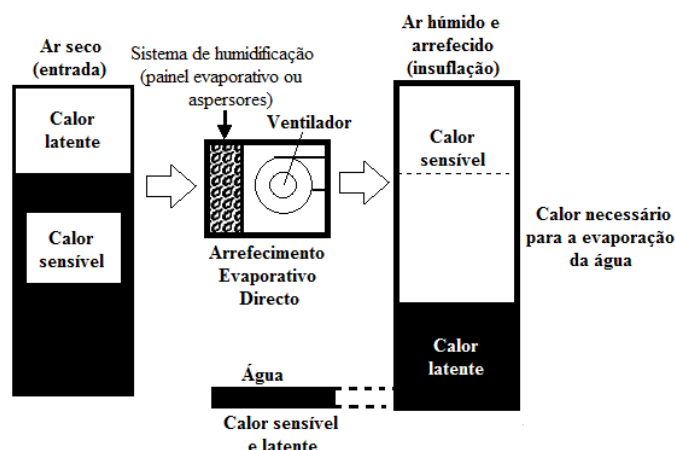


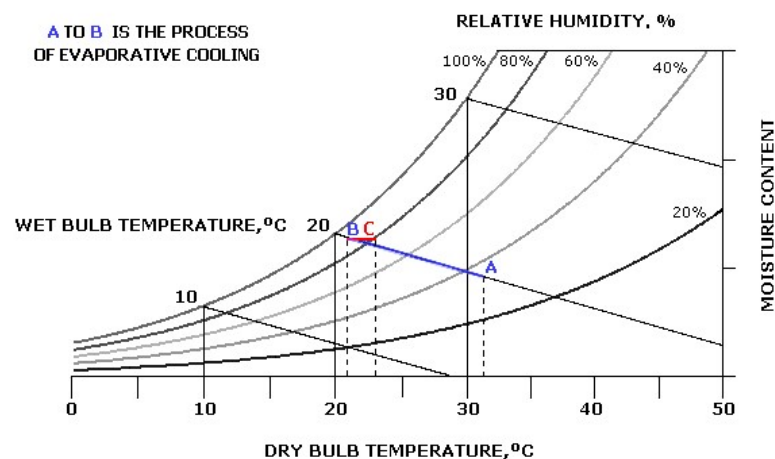
Figura 2.6 – Balanço energético do arrefecimento evaporativo [15].

A corrente de ar é admitida no equipamento e é arrefecida pela evaporação da água, onde ocorre a adição de vapor de água, que aumenta o calor latente e a humidade do ar. Se considerarmos que as perdas de calor para o ambiente são desprezáveis, estamos perante um processo que pode ser considerado adiabático, o que implica que o aumento de calor latente é compensado por uma redução do calor sensível e, consequentemente, ocorre a diminuição da temperatura de bolbo seco do ar [16]

Teoricamente, assume-se que a temperatura da água, que se encontra a recircular no próprio reservatório, não altera devido ao seu contacto com o ar, pelo que o processo de evaporação apenas opera para arrefecer e humidificar o ar. Desta forma, denomina-se um processo adiabático, mas que na realidade apresenta ligeiros ganhos de calor sensíveis, relativos ao reservatório, bomba de água, ventiladores e tubagem.

Se a capacidade do equipamento de arrefecimento evaporativo direto não for suficiente, é possível a integração de sistemas mecânicos complementares de arrefecimento na água recirculada, de modo a baixar as temperaturas de bolbo seco e bolbo húmido do ar exterior (ar a ser tratado) conseguindo, contudo, uma redução de custos em analogia com um equipamento mecânico, entre os 20% e 40%. [9]

O processo do arrefecimento evaporativo direto também pode ser traduzido por um diagrama psicrométrico (figura 2.7), onde se pode verificar que a temperatura de bolbo húmido e a entalpia são aproximadamente constantes, assumindo que a temperatura de bolbo húmido não se altera ao longo do arrefecimento evaporativo direto.



**Figura 2.7 – Representação do processo de arrefecimento evaporativo direto num diagrama psicrométrico [17].**

A eficiência do arrefecimento evaporativo é explicada como a contribuição entre a diminuição real da temperatura de bolbo seco e a máxima diminuição teórica que a temperatura de bolbo seco poderia ter se o arrefecedor evaporativo tivesse uma eficiência de 100% (ar saturado), cuja temperatura de bolbo seco à saída do equipamento seria igual à temperatura de bolbo húmido do ar à entrada.

Este sistema, além de conseguir o arrefecimento e humidificação do ar, acarreta a vantagem de promover a qualidade do ar interior, pois ao longo do processo existe renovação, humidificação e lavagem do ar. Contudo existe a possibilidade de aparecimento, crescimento e transmissão da *Legionella*, que poderá ser introduzida nestes sistemas, devido à presença do reservatório da água, mas que pode ser facilmente despistada através de uma adequada manutenção do sistema.

### 2.2.3 Arrefecimento Evaporativo Direto e Indireto

O uso de sistemas combinados, que envolvam ambos os princípios de arrefecimento direto e indireto, podem ser utilizados para aumentar a eficiência de arrefecimento, sem que a humidade seja agregada ao ambiente. Nestas situações, utiliza-se o arrefecimento evaporativo direto para arrefecimento do ar ou de água que serão utilizados como fluido refrigerante de permutador ar – ar ou ar – água [10].

A figura 2.8 representa um equipamento de arrefecimento evaporativo com duas fases (indireto/direto). Onde a primeiro estágio corresponde ao processo indireto e o segundo ao direto.

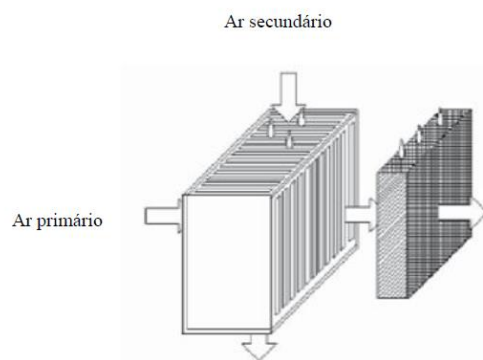


Figura 2.8 – Sistema com arrefecimento evaporativo indireto e direto [10].

A figura 2.9 apresenta uma evolução do processo no diagrama psicrométrico. O primeiro estágio corresponde ao processo de arrefecimento evaporativo indireto, onde este ocorre para uma humidade específica constante, e o segundo estágio, corresponde ao processo de arrefecimento evaporativo direto, onde este segue uma linha de temperatura de bolbo húmido constante.

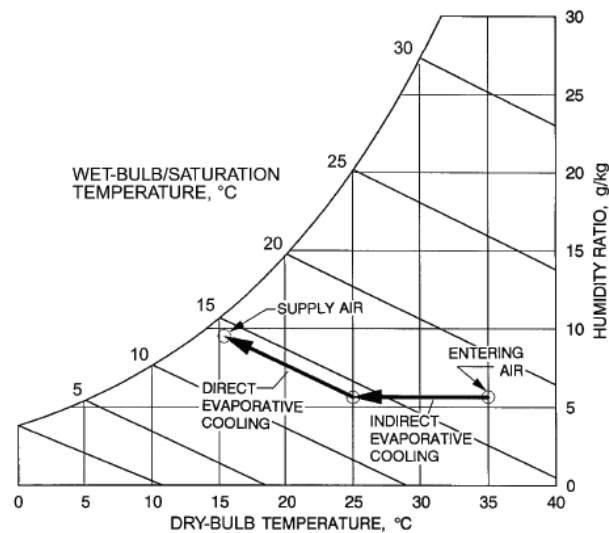


Figura 2.9 – Representação do processo combinado de arrefecimento evaporativo indireto e direto num diagrama psicrométrico [9].

No arrefecimento evaporativo direto, que é o utilizado neste caso de estudo, existem quatro classificações diferentes, de acordo com o sistema de humidificação utilizado, e que serão descritos seguidamente.

#### 2.2.4 Tipos de Arrefecimento Evaporativo Direto

**Roda rotativa** – Consiste num painel em forma de roda, que pode ser de fibras plásticas, fibra de vidro e liga de cobre impregnada com resina e que gira com o auxílio de um pequeno motor. Todo o painel está permanentemente humedecido, devido à sua rotação, pois na parte inferior é humedecido através da sua passagem por um reservatório com água.

**Painel evaporativo fibroso** – Tal como se demonstra na figura 2.10, trata-se de uma espécie de manta elaborada em fibra de madeira faia, fibra plástica, fibra de vidro, fibra sintética, fibra celulósica impregnada com resina, entre outras, com tratamento e

aditivos químicos, de modo a incrementar a sua eficiência de saturação, impedir o crescimento de micro-organismos e reduzir a decomposição estrutural.



Figura 2.10 – Exemplo de painéis evaporativos fibrosos [18].

O painel é colocado numa estrutura de suporte amovível, de aço ou plástico, onde é humedecido através de um sistema de tubagens, que na parte superior distribui, homogeneamente, água que percorre verticalmente o painel, e é recolhida na parte inferior por um reservatório para ser recirculada novamente. A sua eficiência depende da velocidade do ar que passa pelo painel e do tipo de material utilizado, área transversal e espessura.

**Painel evaporativo rígido** – É um painel constituído por várias camadas intercaladas de papelão rígido e ondulado, impregnado numa solução celulósica ou fibra de vidro. O caudal de ar, normalmente, passa pela manta, horizontalmente, enquanto água é adicionada, verticalmente, sendo, na parte inferior, recolhida através de um reservatório e, novamente, recirculada. A figura 2.11 a) mostra um exemplo de um destes painéis, bem como, se encontra esquematizado na figura 2.11 b), o sentido de circulação da água e do ar.

Este tipo de painel tem como vantagens: aumentar a facilidade de limpeza e durabilidade, provocar uma menor perda de carga e não necessitar de uma estrutura de suporte. A sua eficiência depende, basicamente, das mesmas condições transcritas no painel evaporativo, mas, geralmente, com eficiências superiores.



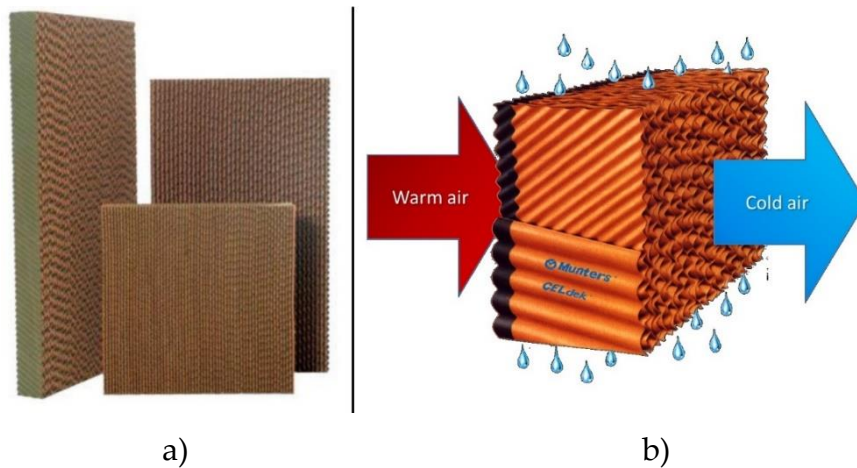


Figura 2.11 – Exemplos de painéis evaporativos rígidos, a) real, b) esquema ilustrativo [19].

Na C-ITA, nalguns dos salões climatizados, encontramos este tipo de arrefecimento evaporativo direto implementado. A figura 2.12 representa uma fotografia retirada aos equipamentos da marca *Metmann*, instalados fora do salão a climatizar.



Figura 2.12 – Arrefecedor evaporativo presente na C-ITA, com identificação dos painéis rígidos.

**Lavador de ar** – Consiste, basicamente, num conjunto de atomizadores, figura 2.13, que liberta gotículas tipo névoa, em que o reservatório colocado na parte inferior recolhe o excesso de água e a recircula, novamente, e para os atomizadores. A eficiência de saturação é incrementada com a diminuição das gotículas à saída dos atomizadores, com a disposição destes e com o aumento de pressão.



Figura 2.13 – Exemplos de atomizadores utilizados em lavadores de ar. [20]

Este método de aspergir a água através de chuveiros, *sprays* ou atomizadores, é bastante eficiente, capaz de atingir elevados índices de humedificação e de diminuição da temperatura, no entanto, recomenda-se que este tipo de humedificação seja efetuado dentro do arrefecedor.

Quando dispersada no ambiente, mesmo que micro pulverizada, a água pode encontrar uma região já saturada, o que fará com que não seja absorvida pelo ar e precipite, molhando o que estiver no seu caminho até ao solo. Mesmo sistemas com higróstatos e válvulas, que cortam o fluxo de água quando determinada humidade relativa é atingida, tendem a gotejar nos bicos até à estabilização da pressão de água no sistema [21].

A eficiência de humedificação para o sistema do tipo lavadores de ar que, como já exposto, dependem do tipo e disposição do sistema de atomização, apresenta valores entre os 50% e os 98%, podendo ser consultados na figura 2.14.

Bank Arrangement	Length, m	Effectiveness, %
1 downstream	1.2	50 to 60
	1.8	60 to 75
1 upstream	1.8	65 to 80
2 downstream	2.4 to 3	80 to 90
2 opposing	2.4 to 3	85 to 95
2 upstream	2.4 to 3	90 to 98

Figura 2.14 – Tabela de eficiência de humedificação do sistema de atomização nos lavadores de ar [11].

Para além da disposição do sistema de atomização, a eficiência pode sofrer alterações devido às características do equipamento, tais como, a geometria interna da secção onde ocorre a vaporização da água, o caudal de ar e a sua velocidade.

O potencial do arrefecimento evaporativo pode ser definido pela expressão 1, que designa uma aproximação da viabilidade de aplicação do arrefecimento evaporativo, dependendo dos dados climáticos do local [22].

$$IA = T_{BH} - (T_{BS} - T_{BH}) = 2T_{BH} - T_{BS} \quad (1)$$

Esse potencial é definido pelo valor do índice de aplicabilidade (IA), calculado através das temperaturas de bolbo seco ( $T_{BS}$ ) e bolbo húmido ( $T_{BH}$ ), pelo que quanto menor for o seu valor, melhores serão os resultados de arrefecimento e humificação do ar.

- *Valor igual ou menor a 10* – Processo indicado para conforto (é necessário um diferencial entre as temperaturas de bolbo seco e bolbo húmido de 12 °C);
- *Valor entre 11 e 16* – Processo indicado para diminuir a carga térmica;
- *Valor superior a 16* – Processo não recomendado (diferencial entre as temperaturas de bolbo seco e bolbo húmido inferior ou igual a 6 °C).

A temperatura do ar que sai do equipamento, ou seja, a temperatura do ar a ser insuflado no espaço a climatizar poderá ser obtida através da expressão 2, que é afetada pela eficiência ( $\varepsilon_{equip}$ ) de saturação (evaporação) do painel evaporativo ou do sistema de atomização e pela temperatura do ar exterior [11].

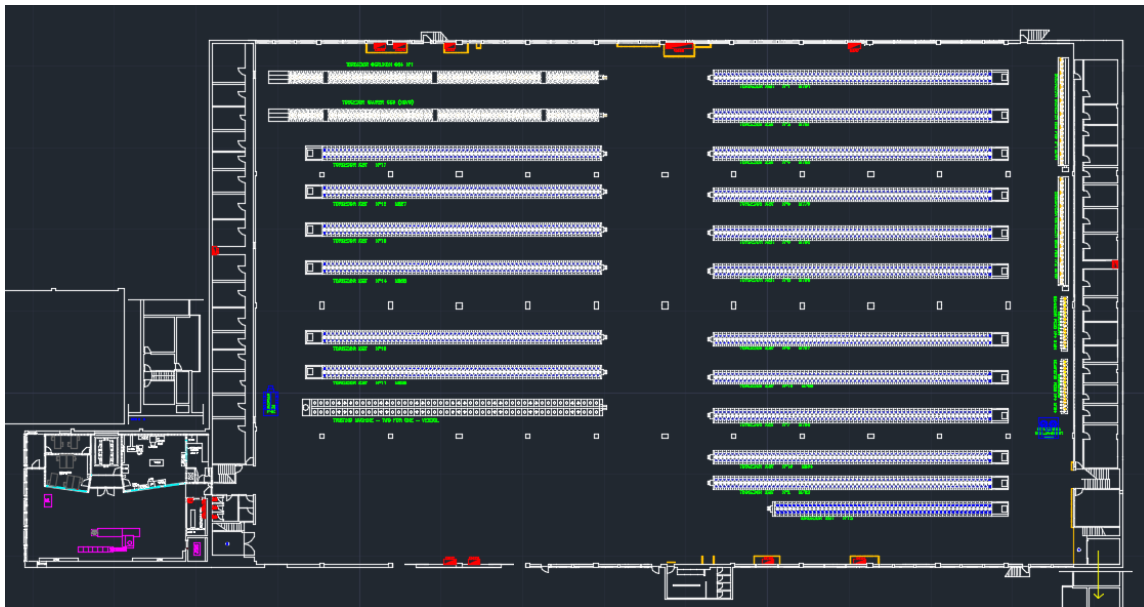
$$T_{BS(ar\ insuflado)} = T_{BS(ent.\ do\ equip.)} - \varepsilon_{equip} \times (T_{BS(ent.\ do\ equip.)} - T_{BH(ent.\ do\ equip.)}) \quad (2)$$

Depois de uma análise geral às características base do AVAC, e com especial ênfase no arrefecimento evaporativo, falta explorar o sistema presente no caso de estudo. Trata-se de arrefecimento evaporativo direto do tipo lavador de ar e denomina-se, na C-ITA, pelas Centrais de Climatização (CC).

## 2.3 Centrais de Climatização C-ITA

Apesar do processo de arrefecimento evaporativo ser utilizado largamente em torres de arrefecimento, condensadores evaporativos e arrefecedores de líquidos, é ainda pouco explorada e difundida a sua utilização para o conforto térmico humano, a nível doméstico. É aplicado, sobretudo, em grandes áreas, com elevado número de ocupantes, onde funcionam equipamentos que produzem calor, em indústrias têxteis, em alguns processos industriais que requerem um controlo preciso de humidade, em minas, abrigos de animais, no armazenamento de produtos hortícolas e no cultivo de plantas [23].

Na C-ITA, no Salão 2 Piso 0, encontra-se a zona afetada pelas CC. Esta área, com cerca de 100 m de comprimento e 63 de largura, ilustrada na figura 2.15, é composta por vários equipamentos de produção, sendo os 21 torcedores os maiores responsáveis pelo aquecimento do espaço, e pelas duas zonas técnicas de climatização, uma em cada ponta.



**Figura 2.15 – Planta base do salão 2 piso 0 (torcedura) da C-ITA. Lado esquerdo encontram-se as centrais 1 e 2 e do lado direito a 3 e 4 [24].**

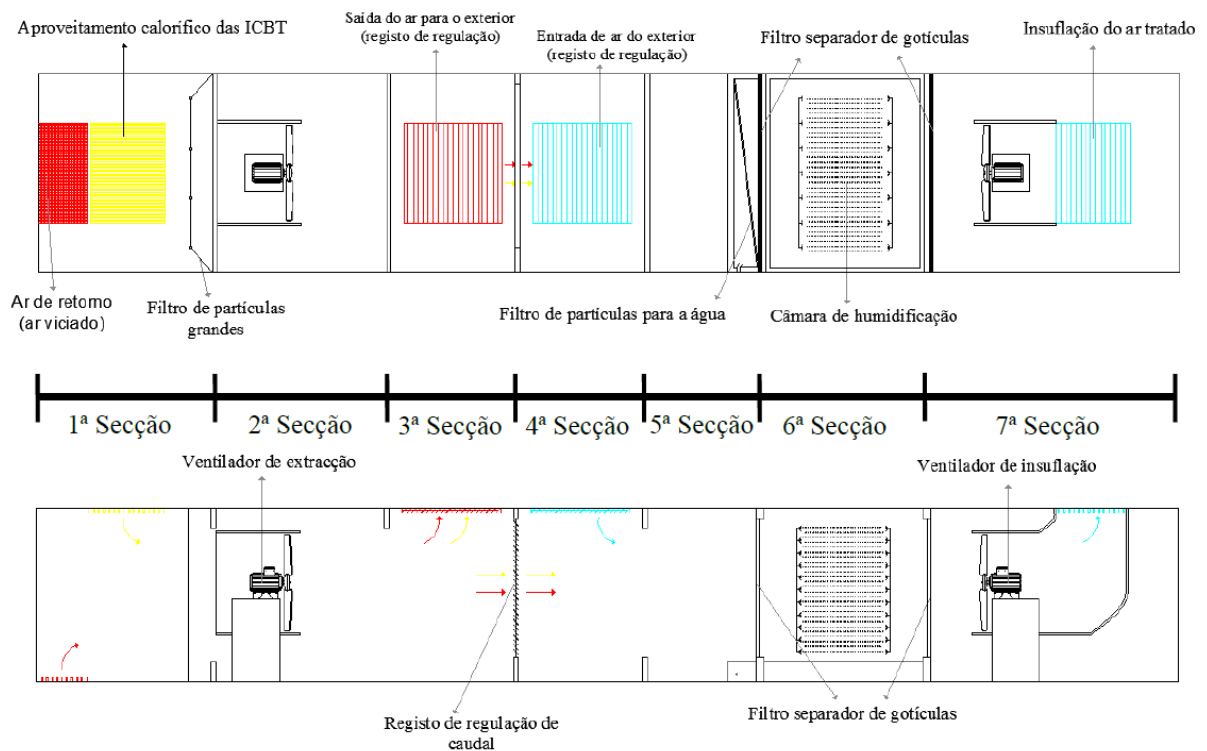
O sistema de climatização é constituído por quatro CC adiabáticas com o método de arrefecimento evaporativo direto, através do sistema de lavadores de ar, em que cada central, afeta uma das quatro zonas “fictícias” de áreas praticamente iguais, que constituem o espaço total em estudo.

### 2.3.1 Descrição Geral das Centrais de Climatização

No processo de arrefecimento evaporativo, o ar é admitido na CC e todo processo de evaporação ocorre dentro da mesma. O ar vindo do exterior passa pelo equipamento, absorvendo o máximo de água possível e os filtros separadores de gotículas encarregam-se de eliminar eventuais partículas líquidas.

Sendo assim, a particularidade deste sistema de arrefecimento, e para o volume do salão em questão, é que requer uma instalação de grande envergadura. Cada central tem cerca de 73 m<sup>2</sup> e aproximadamente 192 m<sup>3</sup>, fazendo com que seja possível haver uma grande área de contacto dos atomizadores com o ar de entrada para maximizar a humedificação deste.

- As CC são construídas em alvenaria de tijolo, rebocadas e divididas em sete secções distintas. Importa salientar, como é visível na figura 2.16, que das sete secções, três dizem respeito à exaustão de ar quente dos torcedores marca ICBT e Oerlinkon (as três mais à esquerda) e as restantes à insuflação de ar fresco e húmido.



**Figura 2.16 – Esquema de uma das centrais de climatização presente na C-ITA.  
em cima: vista em planta; em baixo: vista em corte.**

- **Primeira secção** – Encontram-se duas grelhas localizadas no chão e no teto, e um filtro para partículas de grandes dimensões.
  - *Grelhas Inferiores* – Localizadas no chão das centrais, delas provém o ar de retorno. No chão do salão da torcedura encontram-se distribuídas várias grelhas as quais estão ligadas a uma rede de condutas que, por sua vez, percorrem o salão através do piso -1 e vêm ligar às grelhas das centrais. O ar que percorre estas condutas é ar ambiente do salão, viciado, e que é expelido para o exterior.
  - *Grelhas Superiores* – Localizadas no teto das centrais, delas provém o encaminhamento de calor dissipado pelos equipamentos de produção, designadamente, os torcedores (equipamentos de produção que têm associados pequenos ventiladores de exaustão de ar quente e uma rede de condutas responsável pelo encaminhamento desse ar, para as CC).
  - *Filtros* – Localizados imediatamente antes do ventilador de exaustão, encontram-se dentro das centrais e são responsáveis por reter partículas de grandes dimensões, para que estas não sejam expelidas para o exterior. A exaustão dos torcedores capta o ar ao nível do solo, por baixo da própria máquina, sendo este o motivo pelo qual várias vezes o fio têxtil e outras partículas são arrastados para as condutas de exaustão.
- **Segunda secção** – Ocupada pelo ventilador axial de extração. Estes ventiladores são de baixa pressão e apresentam uma velocidade de rotação nominal de 980 rpm. O motor elétrico está acoplado diretamente ao rotor, estando exposto ao escoamento do ar, e ligado a um variador de frequência que permite a variação de velocidade de funcionamento de modo manual.



Tabela 6 – Características dos ventiladores de exaustão.

Ventiladores de Extração							
CC	Potência Absorvida [kW]	Caudal [m <sup>3</sup> /h]	Pressão total [Pa]	Velocidade Rotação [rpm]	Ângulo das pás	Pot./ Vel. Rot. [kW/rpm]	Conversor de Frequência
1	21	101545	628	980	40°	30/1000	Sim
2	21	101545	628	980	40°	30/1000	Sim
3	21	101545	628	980	40°	30/1000	Sim*
4	21	101545	628	980	40°	30/1000	Sim*

\* Apenas um conversor de frequência a controlar os dois ventiladores da CC.

- *Terceira e Quarta secções* – Aqui posicionam-se a saída e entrada de ar, com registos de modulação de caudal. Na parede que separa a terceira e quarta secção, encontra-se um terceiro registo responsável pela mistura do ar novo com o ar recirculado.

Na figura 2.17 encontram-se presentes os registos de entrada e de recirculação de ar. Como podemos verificar, são registos de grande dimensão, para permitirem a passagem de grandes caudais de ar.



Figura 2.17 – Registos motorizados de passagem de ar. 1: registo de entrada; 2: registo de recirculação.

- *Registo de Entrada de Ar* – Com as dimensões de 2900x1400 mm, este registo comunica com o ar exterior através de uma “torre” em alvenaria de tijolo e é motorizado, podendo a sua abertura/fecho ser modulado.

Esta modulação torna-se interessante, aquando conjugada com a abertura do registo de recirculação de ar.

- *Registo de Saída de Ar* – De dimensões semelhantes ao anterior, este registo também comunica com o exterior sendo responsável pela expulsão de ar. A sua abertura pode ser modulada através do motor presente na figura 2.16 (equipamento laranja).
- *Registo de Recirculação de Ar* – Colocado na parede que separa a parte de exaustão da parte de insuflação, este registo com cerca de 2300x2300 mm, é responsável pela comunicação entre os sistemas. Como o nome indica, o registo é o elemento que proporciona o aproveitamento de ar quente de exaustão das máquinas.

Apesar do seu propósito, este equipamento encontra-se fechado agora. O que acontece com a recirculação do ar é que esta, como provém do interior do salão, muitas vezes corresponde a um ar que já foi arrefecido e humedecido previamente e, embora na exaustão o ar seja quente, nem sempre significa que tenha baixa humidade.

Para o tipo de arrefecimento em questão, quanto menos húmido estiver o ar maior será o aproveitamento. Desta forma, convém, como abordado anteriormente, que seja captado ar exterior novo e que esta recirculação de ar, cada vez mais viciada, seja evitada.

- ***Quinta secção*** – Constituída por parte do reservatório de água, com um filtro colocado dentro do reservatório para reter as partículas maiores que possam circular, e a tubagem de ligação à bomba da água que permite fazer a recirculação da mesma. As características das bombas utilizadas nas CC encontram-se descritas na tabela 7.



Tabela 7 – Características do motor e bomba de água das câmaras de humidificação.

Características do Motor da Bomba de Água					
Central Climatização	Fabricante	Potência Nominal [kW]	Velocidade Rotação [rpm]	Conversor de Frequência	
1	Grundfos	30	2950	Sim	
2	AEG	18,5	1485	Sim	
3	Siemens	30	2955	Sim*	
4	Siemens	30	2955	Sim*	
Características da Bomba de Água					
Central Climatização	Fabricante	Pressão Máxima [bar]	Velocidade Rotação [rpm]	h [m]	Caudal [m³/h]
1	Grundfos	16	2950	58,2	132,4
2	Halberg	16	1460	29	156
3	Grundfos	16	2955	60,3	137,2
4	Grundfos	16	2955	60,3	137,2

\* Apenas um conversor de frequência a controlar os dois ventiladores da CC.

- **Sexta secção** – A câmara de humidificação corresponde talvez à parte mais importante de todo o sistema, constituída por um conjunto de atomizadores, reservatório de recolha da água excedente, bomba de água e separadores de gotas. É nesta secção que ocorre o arrefecimento evaporativo direto através do sistema de lavadores de ar, que têm a função de lavar, arrefecer e humidificar todo o caudal de ar que passa nesta câmara, através da pulverização de água.
- **Sétima secção** – Esta última secção é ocupada pelo ventilador axial de insuflação. À semelhança dos ventiladores de exaustão de ar, o motor elétrico está acoplado diretamente ao rotor, estando exposto ao escoamento do ar, e ligado a um inversor de frequência.

Estes ventiladores, ao contrário dos de exaustão, têm a particularidade de estarem ligados diretamente a uma conduta, que por sua vez se ramifica em dois troços principais, por forma a direcionar o ar húmido para o salão. A tabela 8 enumera as características destes equipamentos.

Tabela 8 – Características dos ventiladores de insuflação.

Ventiladores de Insuflação							
Central Climatização	Potência Absorvida [kW]	Caudal [m³/h]	Pressão total [Pa]	Velocidade Rotação [rpm]	Ângulo das pás	Pot./ Vel. Rotação [kW/rpm]	Conversor de Frequência
1	30	111664	736	980	45°	37/1000	Sim
2	30	111664	736	980	45°	37/1000	Sim
3	30	111664	736	980	45°	37/1000	Sim*
4	30	111664	736	980	45°	37/1000	Sim*

\* Apenas um conversor de frequência a controlar os dois ventiladores da CC.

Embora o sistema tenha sido construído como um todo e trabalhado em conjunto, com o tempo, a parte de exaustão foi-se separando da insuflação, com o controlo de temperaturas localizado nas máquinas. Com este processo de individualização o sistema, que controlava de forma igual e ao mesmo tempo a insuflação e exaustão, passou a não fazer sentido.

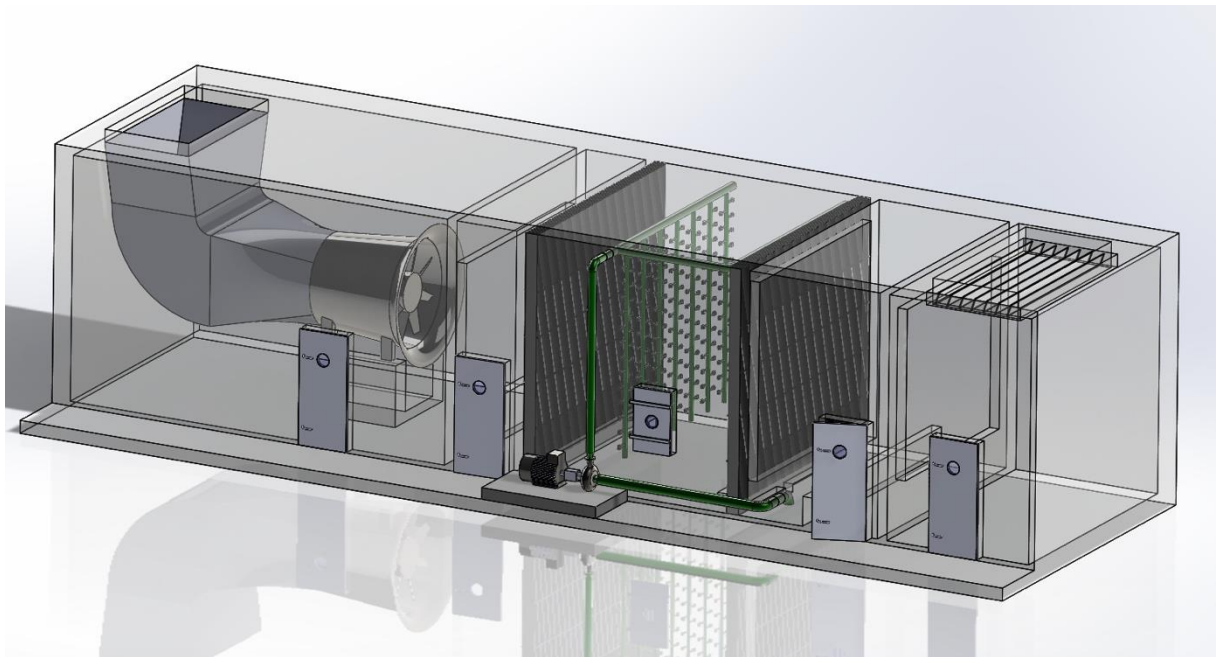
Atualmente, a exaustão de ar quente do salão é feita de forma individual, monitorizando a temperatura de cada torcedor e fazendo atuar o respetivo ventilador que retira e encaminha o ar para o exterior. O controlo dos ventiladores de exaustão e insuflação, que até então era realizado da mesma forma, deixou de fazer sentido, pois não existe uma relação direta da insuflação com a exaustão.

Os quatro ventiladores, referentes às quatro centrais de exaustão de ar, foram desativados recentemente como medida de poupança energética, uma vez que os ventiladores individuais de cada torcedor têm capacidade suficiente para encaminharem o ar para o exterior. Desta forma, mais ineficaz ainda se tornou a insuflação de ar fresco, passando a ser controlada de forma inteiramente manual, quer a nível do ventilador, quer a nível do controlo das bombas de água do reservatório.

Sendo assim, neste trabalho será analisada apenas a parte da insuflação, começando por se detalhar o sistema que introduz ar fresco e húmido na nave fabril. Posteriormente, será traçada a estratégia de controlo automático, que melhor se adequa ao sistema.

### 3 Caso de Estudo

O sistema de arrefecimento e humedificação de ar abordado nesta dissertação é constituído por várias secções, tal como referido anteriormente, todo ele construído em alvenaria, conferindo-lhe dimensões elevadas. Com o auxílio do *software SolidWorks*, foi possível recriar, com detalhe e cotas reais, o lavador de ar em questão, para uma melhor perceção do sistema e das suas particularidades no salão fabril da C-ITA. A figura 3.1 ilustra a configuração das CC referidas.



**Figura 3.1 – Representação em Solidworks da central de climatização 1 – insuflação.**

Importa reforçar, novamente, que a figura 3.1 representa uma CC adiabática, de um total de quatro idênticas. A empresa, e mais concretamente o local em estudo, labora 24 horas por dia, sete dias por semana, tendo apenas alguns dias de paragens, correspondendo ao período de Natal, Ano Novo e manutenções. Isto significa que, em

mais de 345 dias por ano, é extraído ar do salão da torcedura e insuflado ar fresco e novo, esta última parte baseada num sistema de controlo manual.

### 3.1 Fisionomia e Particularidades do Sistema

#### 3.1.1 Câmara de Admissão de Ar

A primeira secção corresponde à câmara de admissão de ar novo. No topo do edifício do salão 2, existe uma câmara com uma parede de alvenaria a meio e com grelhas em lados opostos, sendo umas destinadas à insuflação e outras à exaustão de ar. Atualmente, a parte de exaustão é feita por outras saídas, sendo que nestas câmaras apenas é feita admissão de ar exterior.

O ar segue no sentido descendente, puxado pelo ventilador que será abordado mais a frente, até chegar ao registo motorizado, com uma dimensão de 2900x1400 mm e que dá acesso à primeira câmara da central de insuflação. A figura 3.2 esquematiza toda secção com exceção de um elemento, o registo vertical que estabelecia comunicação entre o ar de exaustão e o ar de insuflação.

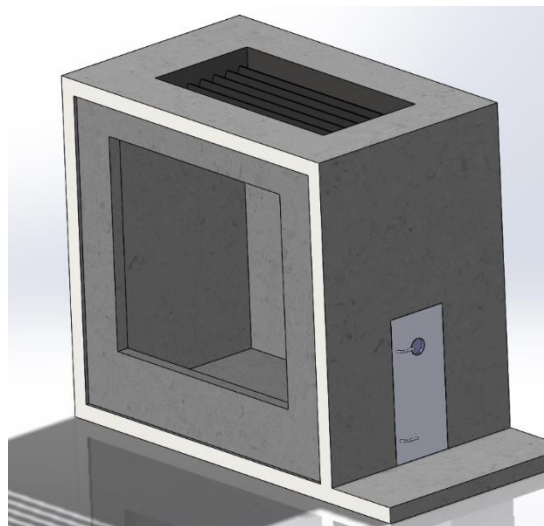


Figura 3.2 – Representação 3d da câmara de admissão de ar novo de uma central.

Anteriormente, algum do ar injetado no salão era, também, proveniente do sistema de exaustão que se misturava com o ar exterior nesta secção, no entanto, isso significava alguma perda de eficiência do sistema. Primeiro, porque o ar de exaustão é quente, viciado e contém partículas, embora na maioria estas sejam filtradas e segundo, porque o sistema de lavagem de ar é tão mais eficiente, quanto menor a

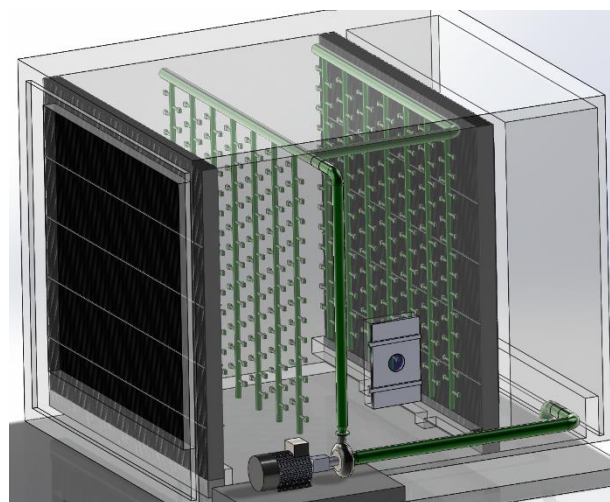
humidade do ar de entrada. Resumindo, a temperatura elevada retira poder de refrigeração ao sistema, que sem ar de exaustão consegue atingir, obviamente, temperaturas menores.

Atualmente, com a remoção dos sistemas de exaustão de dentro das CC, o ar quente deixou de circular na câmara adjacente à câmara de admissão de ar novo e com isso, mais um motivo surgiu para o registo de recirculação de ar ser encerrado, permanentemente.

O registo presente no teto da sala era comandado de forma analógica, sendo a abertura regulada em conjunto com a abertura do registo vertical, por forma a variar-se a quantidade de ar exterior e a quantidade de ar quente que entra na câmara de humificação (secção seguinte). Manifestamente, isso deixou de fazer sentido e, portanto, tem-se mantido completamente aberto.

### 3.1.2 Câmara de Humificação

A câmara de humificação é um sistema típico de lavadores de ar, constituída por um conjunto de atomizadores que nebulizam o ar em que o excesso de água é recolhido no reservatório, onde posteriormente é recirculada através da bomba de água novamente para os atomizadores. A figura 3.3 esquematiza esta secção bem como a predisposição dos vários equipamentos que a tornam na área mais fulcral de todo o sistema.



**Figura 3.3 – Representação 3d da câmara de humificação e respetivo tanque de recirculação de água.**

O ar exterior, proveniente da câmara de admissão, passa pelos separadores de gotas (representados a preto na figura 3.3) e entra em contacto com a neblina criada pelas fileiras de atomizadores.

A quantidade de água que é evaporada é repostada através da informação cedida por uma boia flutuante num reservatório juntamente com o excesso de água que não é absorvida pelo ar. Esta última cai no fundo do compartimento e é arrastada para o tanque de recirculação, como demonstra na figura 3.4, a seta vermelha. Neste reservatório, a água é recirculada novamente para os atomizadores através de uma bomba de água, sendo que é recomendável o uso de água potável e filtros, para que os atomizadores constituintes do sistema de vaporização não sejam obstruídos pelo excesso de minerais [11].



**Figura 3.4 – Câmara de humidificação: 1º separador de gotas, 1ª fileira de atomizadores e representação da recirculação de água.**

A água consumida pelo sistema não é da rede pública, sendo proveniente de um furo de captação de água que alimenta o reservatório, durante todo o ano.

É ainda importante ter em atenção ao perigo da bactéria *Legionella*, a qual pode ser introduzida nestes sistemas através da água ou do ar. Para tal, será necessário cumprir algumas condições de manutenção, para que o crescimento e transmissão não aconteçam, tais como: evitar o uso de borrachas naturais, anilhas de vedação e juntas e evitar o armazenamento de água a longo prazo [25].

Na figura 3.4 é possível identificar o equipamento crucial para todo o arrefecimento e humidificação, os atomizadores. O conjunto de atomizadores é constituído por duas



séries, colocados em paralelo em que uma está no sentido da corrente de ar e a outra em contra corrente ou contra fluxo. Cada série é formada por sete fileiras, em que cada fileira é composta por vinte sete atomizadores, perfazendo assim cento e oitenta e nove atomizadores por série.

Os atomizadores são do fabricante Lechler e o modelo do tipo *tangencial flow hollow cone nozzles*. O bico atomizador liberta uma névoa no formato cónico e oco, proporcionando uma pulverização muito uniforme, com ângulos até 130° e um espectro de gotas fino (menor que 500 µm para uma pressão de 5 bar), devido à entrada do líquido se proporcionar em rotação no interior do atomizador.

O atomizador proporciona auto limpeza, oferecendo segurança operacional mesmo em más condições da água e é, particularmente, indicado para o arrefecimento e humidificação do ar, em sistemas de climatização. O anexo A contém a ficha técnica deste modelo, onde se pode constatar as principais características de trabalho deste equipamento.

Através da figura 2.14, que contém uma tabela de eficiência para os atomizadores, consegue-se verificar que o sistema implementado apresenta um valor de entre 85 a 95%, o que é ótimo.

A delimitar os extremos da câmara de humidificação encontram-se dois filtros separadores de gotículas, constituídos por chapa metálica em forma de chicana, que cria oposição às partículas de água, através do choque destas contra o separador de gotículas. Na figura 3.5 é possível visualizar este acessório totalmente limpo.



**Figura 3.5 – Separadores de gotas das câmaras de humidificação, com respetivos espaçadores.**

Este acessório, que delimita toda a área de passagem de ar, impede a passagem de água líquida, portanto, gotículas que possam ser arrastadas pelo caudal de ar, ficam barradas nesta parte. O anexo B contém a ficha técnica dos separadores de gotas montados nestas CC da C-ITA.

Resta realçar que as bombas são responsáveis pela pressurização dos atomizadores. Uma pressão de 6 bar é mantida na tubagem que capta água do reservatório e alimenta os *nozzles*, conferindo o efeito de neblina desejado (muito refinado para maior rendimento).

Embora todas as CC possuam variadores de frequência a realizarem o controlo da velocidade de rotação das bombas, esta não varia ao longo do funcionamento. De uma forma geral, os variadores apenas estão a garantir a aceleração e desaceleração suave da bomba. Tudo isto se relaciona com o facto de se necessitar do máximo de pressão possível para se poder retirar o máximo rendimento dos atomizadores de água.

### 3.1.3 Câmara do Ventilador

O ventilador presente na última câmara das CC adiabáticas representa um dos elementos fulcrais de todo o sistema, uma vez que é o responsável pelo fluxo de ar da insuflação. Constitui também o equipamento com maior consumo de energia. Na figura 3.6 é possível verificar a configuração e o espaço de ocupação do ventilador em relação à câmara onde se insere.

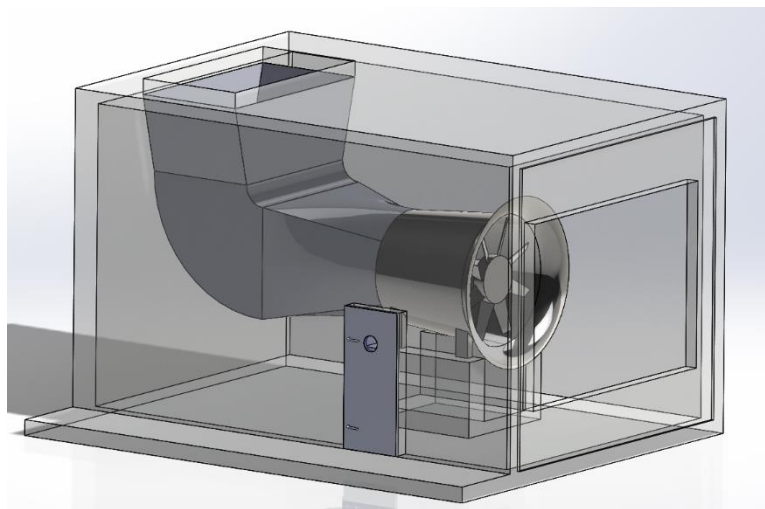


Figura 3.6 – Representação 3D do ventilador de insuflação e respetiva conduta de ligação.



Os ventiladores, como descrito anteriormente, têm uma potência de 37 kW e conseguem debitar um caudal de aproximadamente 110000 m<sup>3</sup>/h, sendo, portanto, equipamentos de elevada dimensão e que têm inseridos na sua estrutura acelerómetros, por forma a monitorizar o seu estado.

A figura 3.7 assinala a localização de um dos acelerómetros, bem como representa uma imagem real do ventilador. Apesar de todo o material de construção ser protegido contra ferrugem, é inevitável o aparecimento da mesma ao longo dos 50 anos de existência das CC, num meio tão húmido quanto o desta câmara.



Figura 3.7 – Imagem real do ventilador de insuflação da central de climatização nº 1.

Os ventiladores das CC 1 e 2 são controlados através de variadores de frequência da marca ABB, modelo ACS800 e ACS550, respetivamente. Com o controlo automático antigo, a variação de velocidade era feita através de *set-points* de temperatura e humidade, em simultâneo com exaustão, no entanto, esse controlo tornou-se desajustado.

O que acontece, atualmente, é que a exaustão de ar quente é feita através do *set-point* de temperatura de cada máquina individualmente, ou seja, cada torcedor presente no salão contém uma sonda de temperatura no seu interior ligada a um controlador de temperatura, da marca OMRON, que controla o ventilador de exaustão. Na prática, o variador de frequência é que modela a velocidade do ventilador, a partir do sinal que recebe do controlador, totalmente parametrizado.

Por outro lado, os quatro sensores de temperatura e humidade (cada um afeto a uma CC distinta), instalados em quatro pilares da área da torcedura, são responsáveis por enviar os valores ambiente das respetivas zonas. Desta forma, e como facilmente se pode depreender, o valor de temperatura interno das máquinas e o valor de temperatura ambiente lido por estes últimos sensores são substancialmente diferentes.

Controlar a velocidade de insuflação a partir da temperatura ambiente do salão tornou-se uma abordagem errada que nunca iria repor de forma eficiente o ar extraído pelos torcedores, daí que o controlo atual é feito manualmente, quer do ventilador, quer da bomba associada e isso representa enormes perdas energéticas, como será exposto mais adiante. A nova filosofia de controlo automático encontrada será também explicada mais à frente, no capítulo 4.

### 3.1.4 Condutas de Ar

A rede de condutas de insuflação adota o formato retangular sem qualquer isolamento térmico e está colocada sobre o pavimento do desvão não ventilado. À saída das CC, a conduta ramifica em duas condutas principais, em que cada irá alimentar seis ramais secundários, como é possível verificar através da figura 3.8. Esses ramais secundários vão ser os responsáveis pela alimentação de pequenos *plenum's*, que têm na sua extremidade uma grelha de insuflação, responsável por difundir o ar climatizado na zona em estudo.

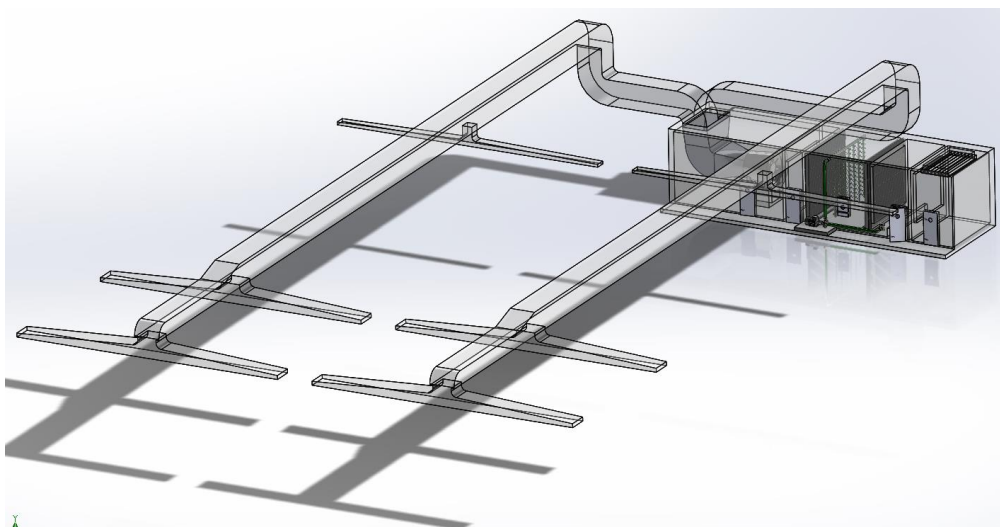


Figura 3.8 – Representação 3D do conjunto completo de uma central de climatização, com ênfase às condutas de insuflação que percorrem o sótão do edifício.

A maior parte das condutas é feita em aço galvanizado, contudo, alguns troços são de aço inoxidável, porém nem sempre a união entre estes troços foi executada da melhor forma e isso resultou em várias juntas com oxidação de ferro.

As grelhas de insuflação inseridas no teto do salão em estudo são fixas e unidirecionais e apresentam as dimensões de 0,85 m × 0,35 m e 0,15 m × 0,85 m. O anexo C mostra o desenho da distribuição e número total de grelhas.

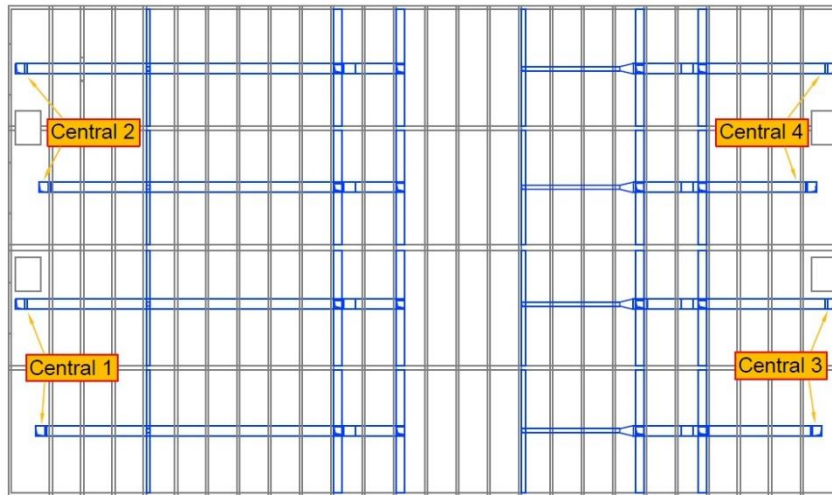
O tipo de fluxo de ar representado no edifício em estudo é caracterizado pelo tipo de ventilação *mixing*, em que a insuflação do ar é realizada a altura elevada (no teto) e a extração a baixa cota (ao nível do chão), através das máquinas e de condutas no solo para remoção de poeiras e filamentos.

Para uma melhor perceção da ocupação da rede de condutas, a tabela 9 expõe a quantificação das mesmas.

**Tabela 9 - Descrição, dimensões e área total da rede de condutas de insuflação.**

Rede de Condutas de Insuflação de Ar		
Descrição	Dimensão [m]	Quantidade [m <sup>2</sup> ]
Conduta	1,42x2,50	111
	1,42x1,25	1668
	1,10x0,93	135
	0,55x0,37	106
	1,10x0,77	89
	0,55x0,55	11
	0,30x0,55	190
	1,10x1,10	21
	1,10x0,60	794
Cotovelo	1,42x2,50	16
	1,42x1,25	109
Total [m <sup>2</sup> ]	3250	

A figura 3.9 ilustra a distribuição total das condutas, representativa das quatro centrais. É ainda possível comprovar que a configuração das condutas afetas às centrais 1 e 2 é diferente da 3 e 4, resultando numa extensão e mapeamento diferentes.



**Figura 3.9 – Layout da distribuição de condutas de insuflação ao longo dos 120 metros de desvão do edifício.**

Agora que todo o esqueleto das CC foi apresentado e a necessidade de um novo controlo já foi, em parte, explicada, resta perceber um pouco do impacto energético deste grande equipamento e as suas potencialidades de poupança.

### 3.2 Consumos Energéticos das Centrais de Climatização

O processo de arrefecimento evaporativo é influenciado, entre outros fatores, pelo clima da região onde é instalado. Deste modo, existem zonas com uma maior aplicabilidade para o sistema do que outras, mas mesmo dentro das zonas mas propícias o seu rendimento pode variar.

Retomando a equação 1, exposta no final do subcapítulo 2.2.4 e após realização da medição da temperatura de bolbo seco e bolbo húmido, no passado dia 9 de junho, comprova-se o índice de aplicabilidade do sistema.

$$IA = 22,3 - (29,1 - 22,3) = 15,5 \quad (3)$$

Obviamente que apenas se tratou de uma simples medição num dia em concreto, no entanto o valor encontra-se entre 11 e 16, o que indica que o sistema é ideal para alívio da carga térmica. Medições posteriores foram realizadas, tendo em 90% dos

casos sido registado um valor entre os 11 e os 16, reforçando a validade do sistema. Sabe-se, contudo, que os gradientes de temperatura nem sempre apresentarão este intervalo e mesmo assim o sistema funcionará, daí que esta equação não terá ênfase no programa de controlo das CC.

A forma como se adapta e controla o sistema faz variar o consumo de energia destas unidades. A tabela 10 mostra os valores de consumo energético das CC, no ano de 2015, com o objetivo de se poder ter uma noção do quanto é despendido para aliviar a carga térmica do salão da torcedura.

**Tabela 10 – Registo dos consumos de energia das centrais de climatização no ano de 2015.**

<b>Consumos de Energia [kWh] nas Centrais de Climatização em 2015</b>					
<b>Mês</b>	<b>CC 1</b>	<b>CC 2</b>	<b>CC 3</b>	<b>CC 4</b>	<b>Total</b>
Janeiro	348,1	13 309,4	14 934,1	15 188,8	43 780,3
Fevereiro	69,8	14 513,4	22 249,1	21 721,3	58 553,5
Março	79,7	23 889,9	21 812,6	21 545,0	67 327,2
Abril	73,9	41 751,4	30 749,7	29 660,4	102 235,3
Maio	4 554,8	44 601,8	40 482,3	39 846,1	129 484,9
Junho	43 607,8	49 819,3	48 762,4	58 398,9	200 588,4
Julho	39 168,8	48 546,8	47 423,9	57 358,8	192 498,4
Agosto	37 729,2	48 973,0	48 499,5	59 411,5	194 613,2
Setembro	30 789,0	47 602,3	44 715,8	57 870,4	180 977,6
Outubro	25 834,4	47 491,7	33 995,1	59 706,8	167 027,9
Novembro	8 396,3	35 862,4	28 868,0	32 527,9	105 654,6
Dezembro	121,5	37 609,3	23 876,3	24 589,4	86 196,4
<b>Total</b>	<b>190 773,1</b>	<b>453 970,6</b>	<b>406 368,7</b>	<b>477 825,2</b>	<b>1 528 937,6</b>

Como se pode constatar, os consumos variam bastante tendo em conta os seguintes fatores: época do ano; manutenção das centrais, que as coloca paradas durante alguns dias; controlo manual; obras, entre outros aspetos. Salienta-se que a CC 1 esteve bastante tempo parada no ano de 2015, devido a manutenções, daí os seus consumos serem evidentemente mais baixos que as restantes, originando a que os seus valores não se possam considerar normais.

De uma forma geral, sabe-se que, atualmente, por cada central existe um ventilador de 37 kW e uma bomba de 30 kW, e que ambos são os maiores responsáveis pelo consumo energético do sistema. Este facto deve-se à desativação, realizada em 2016,

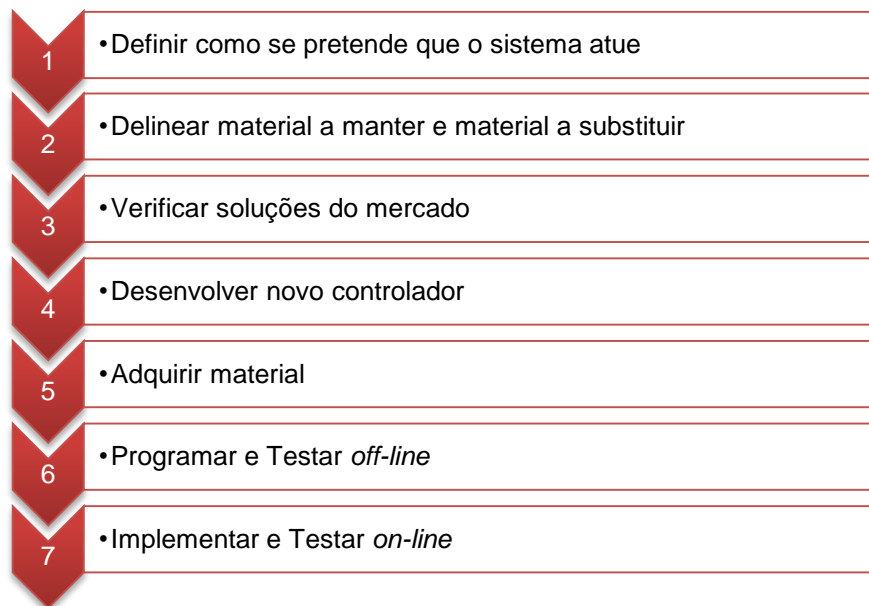
dos ventiladores de exaustão de 30 kW o que, por si só, já representa uma poupança energética face aos restantes anos.

Não obstante, esta forma de controlo manual origina, não só, desajustes no sistema, pois a cada instante não responde às alterações do meio, como um maior gasto energético devido aos períodos em que a bomba está ligada desnecessariamente e em que os ventiladores estão a velocidades superiores das que realmente necessitavam. Obviamente que o oposto também ocorre, períodos em que a velocidade é insuficiente ou em que as bombas estão desligadas e não deveriam, mais uma vez demonstrando o desajuste do sistema e a incapacidade de resposta constante.

A automatização do controlo das CC, não só representa um melhor ajuste das condições climatéricas do salão, como possui um enorme potencial de poupança energética, como será exposto no próximo capítulo.

## 4 Novo Controlo das Centrais de Climatização

Após a recolha da informação disponível, torna-se fundamental encontrar uma estratégia de controlo para o sistema de insuflação já existente. Analisando os dados e identificando os requisitos, definiu-se a estratégia ilustrada na figura 4.1, para chegar à conclusão do projeto.



**Figura 4.1 – Diagrama representativo da metodologia utilizada.**

Já foi referido, anteriormente, que mais do que se tentar estabelecer um novo controlo para o sistema, pretende-se que haja uma preocupação acrescida com os consumos energéticos. O sistema possui equipamentos com elevada potência que, comandados manualmente e deixados “ao acaso”, podem consumir energia desnecessária e isso é algo que se pretende evitar.

## 4.1 Potencial de Poupança Energética

Existem essencialmente dois equipamentos a controlar: o ventilador de insuflação e a bomba de recirculação de água. O primeiro é necessário garantir que trabalhe a uma velocidade correta, a cada instante, de modo a equilibrar o ar que está a ser retirado do salão e a renovar o mesmo, no segundo é necessário assegurar que controla o arrefecimento do ar, consoante as necessidades.

No entanto, se para o ventilador a poupança não é tão fácil de se estimar, no caso da bomba o cenário é um pouco diferente.

O arrefecimento evaporativo, além de arrefecer e humidificar o ar, tem como principal vantagem a renovação do mesmo, melhorando a qualidade do ar interior. Uma baixa humidade relativa e elevada temperatura do ar exterior favorecem a eficiência deste processo, devido ao facto de o ar conseguir absorver uma maior quantidade de água. Já uma elevada humidade relativa exterior, prejudica a capacidade de arrefecimento, pois a absorção de água por parte do ar é limitada [7].

Desde cedo, pode-se depreender que a temperatura e humidade do ar exterior são um fator preponderante para o rendimento do sistema. Ou seja, muitas são as vezes que o ar entra já numa condição aceitável para ser insuflado diretamente no salão e, mesmo assim, as bombas encontram-se ligadas, gerando um desperdício energético.

Os períodos de inverno são os que representam maior potencial de poupança, pois são os tipicamente mais frios (menor temperatura) e chuvosos (maior humidade), no entanto, como o controlo é desenvolvido de forma manual, longos são os períodos em que a bombagem de água está ativa sem necessidade.

De modo a poder criar-se um conjunto de dados que permita conhecer melhor a situação na fábrica, instalaram-se dois termo higrómetros, iguais ao modelo representado na figura 4.2, um dentro do salão da torcedura e outro, mais importante, a monitorizar as temperaturas e humidades exteriores.

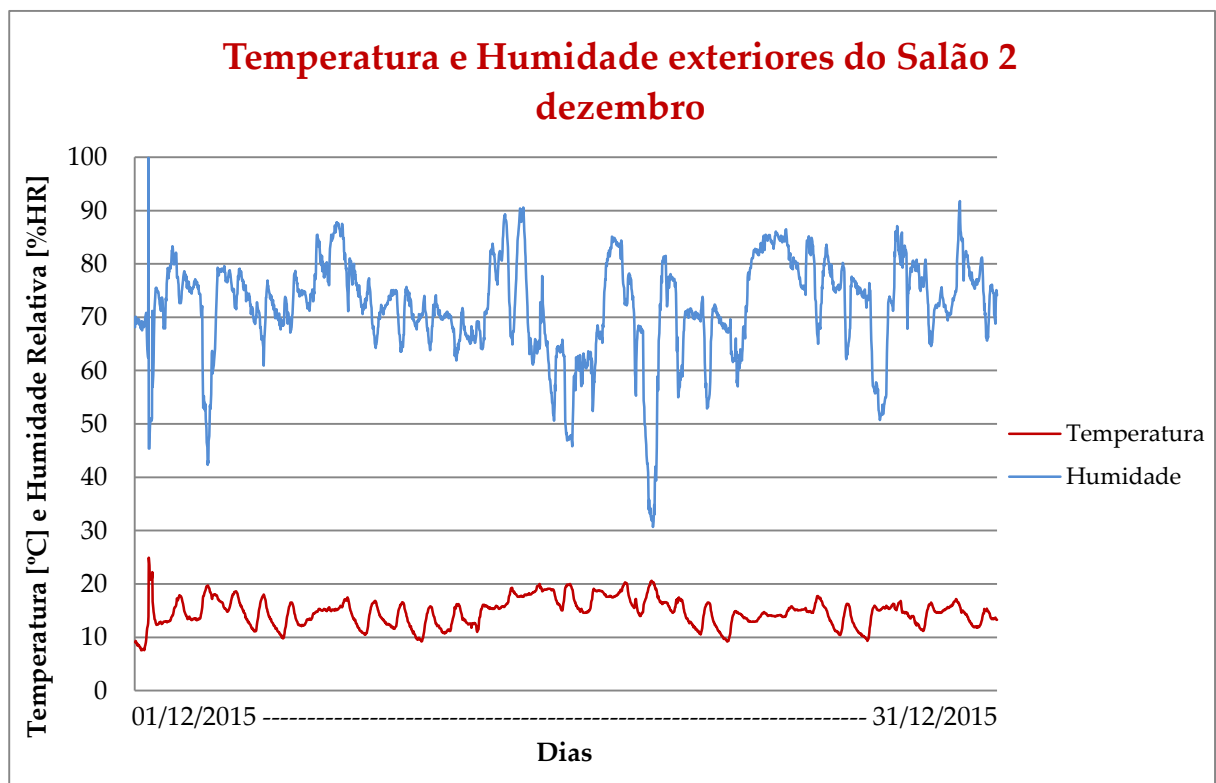




**Figura 4.2 – Testo 174 H - Mini *data logger* de temperatura e humidade.**

Estes equipamentos foram escolhidos por estarem disponíveis na C-ITA, e apresentarem um intervalo de medição adequado ao que se pretende, -20 a 70°C de temperatura e 0 a 100%HR. As medições foram efetuadas entre outubro e dezembro de 2015, tendo ainda sido registada a primeira semana de janeiro de 2016.

O anexo D contém os relatórios extraídos do programa, para o período acima mencionado, para as medições interiores e exteriores, respetivamente. A figura 4.3 representa o gráfico construído para o mês de dezembro.



**Figura 4.3 – Gráfico obtido para as temperaturas exteriores e para a humidade relativa, ao longo do mês de dezembro de 2015.**

Como se pode constatar, escolhendo uma semana do mês de dezembro, é possível verificar as variações de temperatura e humidade com mais detalhe, contudo, não é possível através do gráfico quantificar, em número de horas, o tempo em que a temperatura esteve abaixo de 17°C, por exemplo.

Uma vez que o rendimento de uma CC adiabática é tão maior quanto mais quente e seco for o ar de entrada, conclui-se que quanto menor for a temperatura e maior a humidade relativa do ar exterior, menor será o rendimento, até chegar a um ponto em que, praticamente, deixa de fazer sentido estar a tentar arrefecer ou humidificar mais o ar, pois o mesmo não terá capacidade de absorver água ou o aproveitamento será demasiado baixo para a energia gasta. O tempo que a bomba de recirculação de água está ligada desnecessariamente representa o desperdício.

Na prática, e para se obter uma estimativa de poupança, é necessário um indicador de tempo associado a um valor de temperatura ou de humidade exteriores. A tabela 11 apresenta uma contagem do número de medições acima de certas humidades relativas ou abaixo de determinadas temperaturas, novamente para o mês de dezembro. Como as leituras foram realizadas de forma periódica, em intervalos de 20 minutos, foi assim possível estimar o número de horas para estas leituras.

**Tabela 11 – Tabela do número de horas para determinadas temperaturas e humidades, durante o mês de dezembro de 2015.**

Tabela de Contagem de Horas por Intervalos de Medida				
Unidade	Intervalos	Contador	Nº de Horas	Nº de Dias
Temperatura Exterior	<=18°C	2003	667,7	27,8
	<=17°C	1826	608,7	25,4
	<=16°C	1607	535,7	22,3
	<=15°C	1187	395,7	16,5
Humidade Exterior	>=70%HR	1453	484,3	20,2
	>=75%HR	883	294,3	12,3
	>=80%HR	408	136	5,7
	>=85%HR	105	35	1,5

Analisando a tabela, verifica-se que as temperaturas durante o mês de dezembro estiveram, praticamente, sempre abaixo dos 18°C. Estes resultados demonstram que, se se considerar que 18°C é uma temperatura suficientemente fresca de entrada do ar, durante este período, ou seja, um mês inteiro, a bomba poderia ter estado desligada.

Um segundo caso a referir, e talvez mais notório é o do mês de novembro de 2015. Este mês, registou uma temperatura no interior do salão a rondar os 30°C, ou seja, quase sempre foi exigido arrefecimento do ambiente interno. Este foi um mês em que as bombas estiveram muito tempo ligadas.

Não obstante, o mês de novembro foi tipicamente frio e húmido em que uma análise aos seus dados, à semelhança da análise praticada na tabela 11, revela 507 horas de temperatura abaixo dos 18°C (cerca de 21 dias) e 542 horas com humidade relativa acima de 70%HR (cerca de 22,5 dias). Várias destas horas foram coincidentes, obviamente, e representam um tempo em que a bomba seria desnecessária.

Considerando que o valor médio do preço da energia é de 0,09 €/kWh e que as bombas de água têm uma potência ( $P_{bomba}$ ) de 30 kW, estando sempre ligadas na sua capacidade máxima, atendendo à equação 4, é possível estimar uma poupança de 1370€, por central, para o mês de novembro.

$$Poupança [€] = 0,09 \times (P_{bomba} \times N^{\circ}_{horas\ trabalho}) \quad (4)$$

Obviamente, que esta estimativa é um pouco grosseira, contudo, serve para demonstrar a poupança que uma gestão automática, baseada em *set-points* de temperatura e humidade, poderia trazer à empresa.

## 4.2 Estratégia Geral de Controlo

Uma vez identificado o potencial de poupança energética, resta agora definir claramente, qual a estratégia de programação para que as centrais insuflam ar fresco e húmido de forma automática e eficiente.

Como referido anteriormente, existem apenas dois grandes equipamentos a serem controlados por cada CC, o ventilador de insuflação de 37 kW e a bomba de recirculação de água de 30 kW.

#### 4.2.1 Controlo do Ventilador Axial de Insuflação

Cada máquina do piso 2 possui um ou dois ventiladores de extração de ar quente no seu interior, por forma a conseguirem eliminar o calor gerado em todos os seus fusos.

A figura 4.4 mostra, em planta, uma representação dos torcedores e as suas ligações ao anel de exaustão, sendo que quatro deles não apresentam ligação, pois estão conetados diretamente ao exterior. Os valores registados a vermelho, retirados das características dos ventiladores, representam o caudal máximo que estes conseguem debitar.

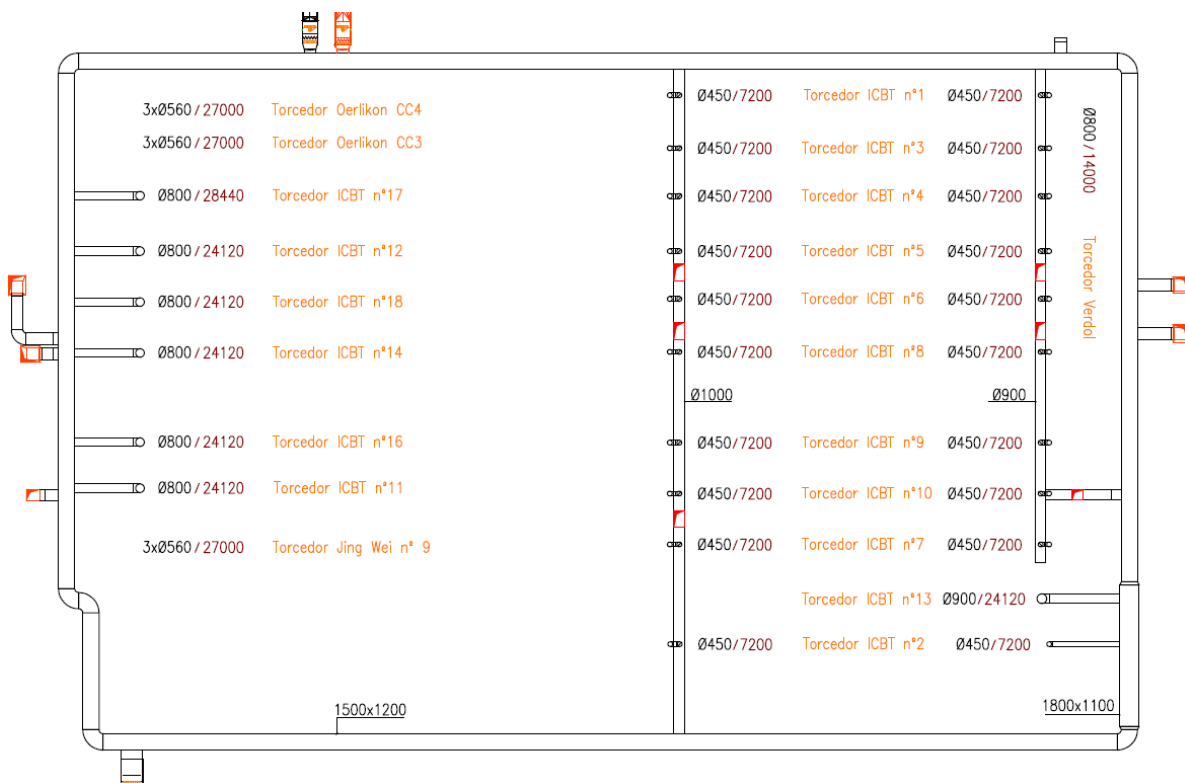


Figura 4.4 – *Layout* representativo da extração de ar pelos torcedores no salão 2 piso 0.  
A vermelho indicam-se os valores máximos de caudal em m³/h.

Somando todos os valores, é possível atingir 412160m³/h de ar quente removido do ambiente, no entanto, este valor é muito difícil de ser atingido.

Embora o controlo da velocidade de rotação destes ventiladores de exaustão de ar seja feito através de um controlador de temperatura da OMRON, (modelo E5CN), presente em cada máquina, com um *set-point* de temperatura ajustável, a mesma filosofia de controlo não se poderia aplicar ao sistema de insuflação de ar frio.

É certo que, normalmente, quanto maior a temperatura, maior deverá ser a exaustão de ar, pois mais se excede o *set-point* programado no controlador, mas nem sempre a relação é direta. Muitas vezes o que sucede é que existem algumas máquinas que apresentam temperaturas elevadas, todavia o salão, em si, não se encontra numa temperatura tão alta e vice-versa. Nestes casos, o controlo por temperatura estaria a ser enganado pelas condições do salão.

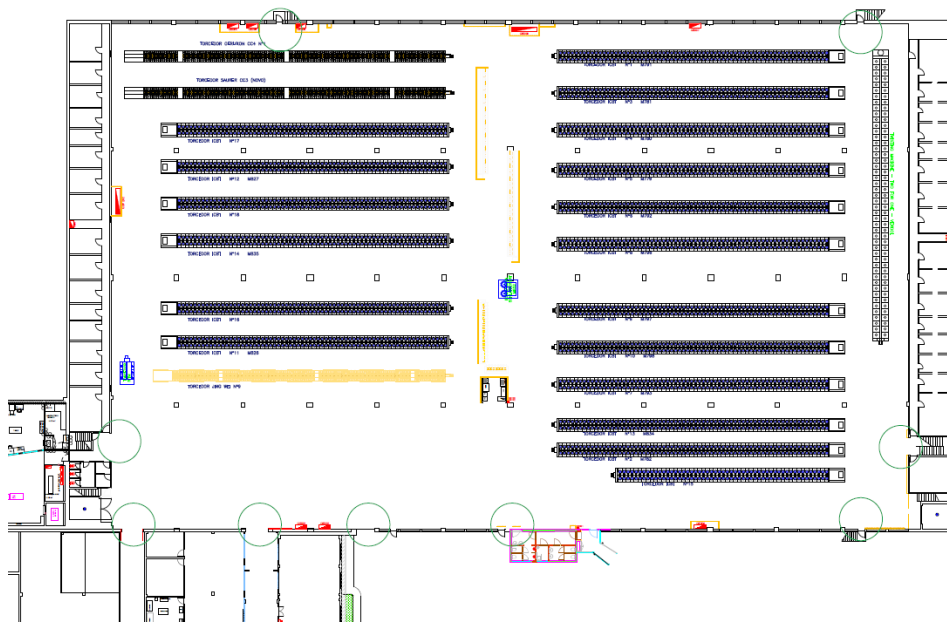
Contudo, o argumento principal prende-se com a quantidade de ar insuflado. Se a exaustão varia, para cada máquina, através de temperatura, a injeção de ar fresco deveria encontrar uma forma de ir compensando o ar retirado pela totalidade das máquinas, ao salão e isso com certeza não se consegue de forma eficaz através de *set-points* de temperatura.

✓ **1ª Hipótese:**

Uma possível estratégia passaria por comunicar com todos os controladores de temperatura de todas as máquinas e tentar obter o valor imposto aos variadores de frequência dos ventiladores. Desta forma, seria possível estimar um caudal de ar extraído pelas máquinas e, com esse valor, comandar os variadores de frequência dos ventiladores de insuflação, para que estes reponham o ar. No entanto, rapidamente se percebeu que esta ideia traria algumas desvantagens importantes:

- ✓ *Sistema Complexo* – Comunicar com todos os controladores de temperatura das máquinas implica comunicar com 21 equipamentos. Tudo isto implica muitas cartas de entradas adicionais, passagem de cabos longos, uma complexidade elevada do programa e um sistema que tem de ser alterado sempre que uma nova máquina for instalada ou uma existente mude de localização (pois muda a zona de perturbação).

- ✓ *Sistema Cego (face à envolvente)* – Embora fosse possível repor com alguma exatidão o ar extraído do salão, através das exaustões das máquinas, o sistema não teria em consideração a vizinhança. É de notar que o salão da torcedura comunica com áreas adjacentes tais como o salão 1 do piso 0 (Tecelagem) através de dois grandes “túneis”, o salão 2 piso -1 (Armazém e Torcedura) através de escadas e exterior e através do portão e portas, normalmente fechadas. A figura 4.5, representa o *layout* de todo o piso 0, onde se pode comprovar todas estas ligações referidas com círculos verdes.



**Figura 4.5 – Representação de todas as ligações, com passagem de ar, do salão da torcedura à sua vizinhança.**

Concluindo, o controlo feito por comunicação com as extrações individuais das máquinas, não teria em conta o ar que migra de outros salões para o da torcedura ou vice-versa.

- **2ª Hipótese:**

A segunda estratégia de controlo de velocidade dos ventiladores de insuflação, e a que veio ser aceite para o projeto, baseia-se no comando dos mesmos, através do sinal recebido por transdutores de pressão diferencial.

A ideia surgiu através de um outro sistema de climatização implementado no salão 1 piso -1, em que o controlo do ar insuflado pelos arrefecedores evaporativos (figura

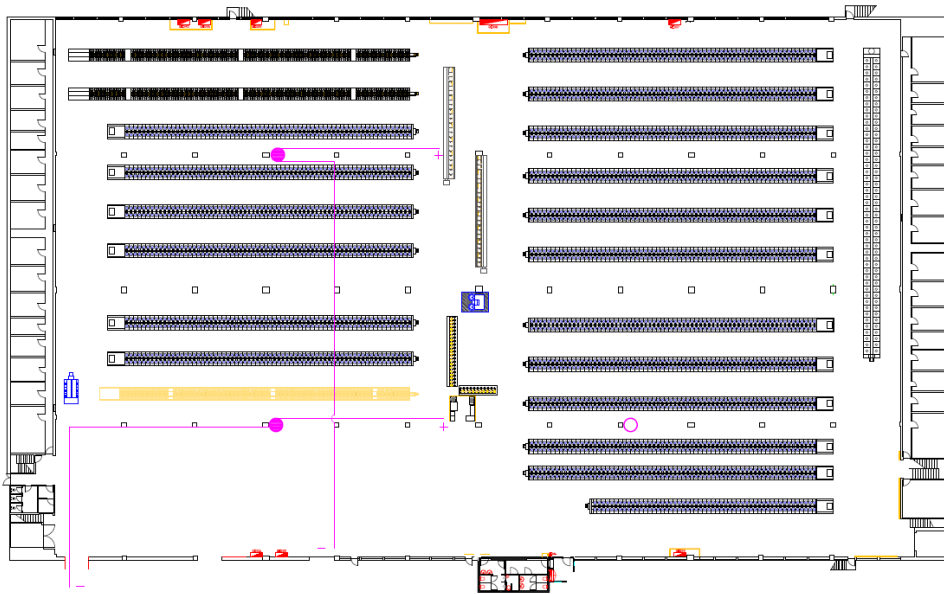
2.12 do subcapítulo 2.2.5), com o objetivo de compensarem a extração de ar produzida pelos torcedores presentes, é feito por intermédio de transdutores de pressão diferencial, que calculam a diferença de pressão entre o dito salão e a envolvente (túneis e outras passagens).

O modelo dos transdutores de pressão escolhido nesse projeto (EGP100F301 da marca Sauter) apresenta um intervalo de medições de 0 a 150 Pa e aí reside um grande problema, a sensibilidade do sistema. Como a variação de pressões neste salão atinge valores na ordem dos 5 Pa, normalmente, podendo ir um pouco mais além, o valor do sinal cedido pelo transdutor ao variador de frequência dos arrefecedores é dado em tensão e é tão baixo que quase não é mensurável. Com esta experiência, a estratégia para o presente projeto será escolher um transdutor com um intervalo de medições adequado por forma à sensibilidade do sistema ser melhorada.

A exaustão de ar por parte dos torcedores retira ar ao ambiente e, consequentemente acaba por criar uma depressão no sistema (acentuada caso este fosse totalmente fechado), que tende a arrastar o ar da vizinhança trazendo, também, poeiras e sujidade.

Se o objetivo é insuflar uma quantidade de ar fresco que compense o extraído e, ao mesmo tempo, que haja uma ligeira sobrepressão no salão para que as poeiras migrem para fora deste, a implementação de transdutores de pressão diferencial, com as tomas de medição em locais estratégicos, representa a solução ideal.

O controlo será então desenvolvido por um PLC que receberá sinais dos transdutores de pressão diferencial e gerará um *set-point* para os variadores de velocidade existentes que comandam a velocidade dos ventiladores referidos. A escolha dos equipamentos (PLC, transdutores de pressão, etc.) será abordada no subcapítulo 4.3, no entanto, a figura 4.6 ilustra a localização discutida e pretendida para as tomas de medição de pressão



**Figura 4.6 – Esquema representativo da posição dos transdutores de pressão (círculos magenta) e das respectivas tomas de medição, positivas e negativas.**

A figura 4.6 apenas retrata o posicionamento para dois transdutores de pressão, que são os afetos às centrais de climatização 1 e 2. Isto deve-se, essencialmente, ao facto de que a intervenção será feita, numa primeira fase, a estas duas unidades e só posteriormente, com o sistema de controlo já preparado, nas restantes duas, devido a questões de orçamento e tempos de execução.

A zona central do salão é a zona mais neutra, ou seja, a mais distante das aberturas laterais e da sucção dos torcedores e, por esse motivo, destaca-se como a melhor área para alocar a toma de medição positiva dos transdutores de pressão.

A toma negativa foi escolhida tendo em conta a perturbação que se pretende compensar. Sendo a CC 1 a unidade mais próxima do salão da Tecelagem, e como um dos objetivos é criar sobrepressão, a toma negativa da medição da pressão tem interesse que se localize nesse mesmo salão, perto da passagem que comunica com o salão 2. Deste modo, consegue-se uma comparação entre salões e uma ordem de comando que imponha mais caudal de insuflação até ao ponto que o ar passe ligeiramente para o salão 1 piso 0.



A CC 2, uma vez que se localiza numa zona relativamente isenta de perturbação, à exceção das portas de emergência, que regra geral estão fechadas, faz sentido que apoie outras áreas.

Quanto ao *set-point* de pressão que define o acionamento do sistema, definiu-se o valor de 5 Pa, por analogia ao valor obtido no salão 1 do piso -1, como o valor inicial. Como neste caso, o volume do espaço é grande e as aberturas também, o *set-point* teria de ser baixo, pois o sistema não tem capacidade para pressurizar mais do que o valor sugerido. Este valor, no entanto, necessita de ser reformulado após instalação.

Da leitura dos transdutores de pressão diferenciais, que será explorada no capítulo 4.3, obtém-se um sinal analógico, transformado em digital pelas cartas de entradas analógicas, que comandará a saída para os variadores de frequência dos respetivos ventiladores.

O sistema fará a cada instante uma comparação entre o valor real de diferença de pressão do salão e o valor pretendido pelo utilizador e através dessa comparação, aumentará ou diminuirá, em intervalos constantes de tempo, a frequência dos variadores de velocidade.

Por último, importa ainda esclarecer que não é de todo conveniente que o valor de frequência dos equipamentos seja demasiado baixo. Ou seja, tornou-se necessário que dentro da gama de pressões lidas pelos transdutores, o sistema mantivesse um valor mínimo de saída para os variadores, antes de os desligar. Na verdade, com um ventilador de grande potência e uma envolvente a insuflar, de volume tão elevado, torna-se conveniente definir um valor mínimo para os variadores, da marca ABB, que executam o controlo de velocidade. Nesse sentido, definiu-se um valor de 25 Hz, como valor mínimo de trabalho do variador, para não haver desperdício energético.

#### **4.2.2 Controlo da Bomba Centrífuga de Recirculação da Água**

Até este ponto do trabalho, a estratégia incidiu somente na parte de controlo da quantidade de ar que é insuflada no salão, resta agora abordar a parte da bomba de recirculação de água (controlo do arrefecimento).

As bombas centrífugas presentes são o elemento responsável por ceder água a alta pressão aos atomizadores, para que humidifiquem o ar e, consequentemente, o refrigerem. No entanto, como abordado anteriormente, muitas são as vezes que o ar exterior contém, à partida, condições ideais para ser inserido no salão sem que seja necessário humedecê-lo, aliás, estes casos de humificação correspondem a desperdícios energéticos.

Em síntese, para que se cumpram todos os requisitos de forma eficiente, a estratégia para controlo da bomba de recirculação de água verifica-se mais simples de se definir do que a do ventilador, baseando-se em *set-points* de temperaturas e humidades interiores e exteriores. A dificuldade relaciona-se mais com a definição do valor de *set-point* correto.

A figura 4.7 apresenta um diagrama esquemático, com um exemplo do modelo de controlo para esta secção. O diagrama apresenta um pequeno código de cores para, mais facilmente, se diferenciarem variáveis externas de internas e os valores inseridos representam valores de *set-points*, definidos pelo administrador do programa que serão passíveis de serem alterados, com um nível de acesso apropriado, contudo, representam já o valor inicial proposto.

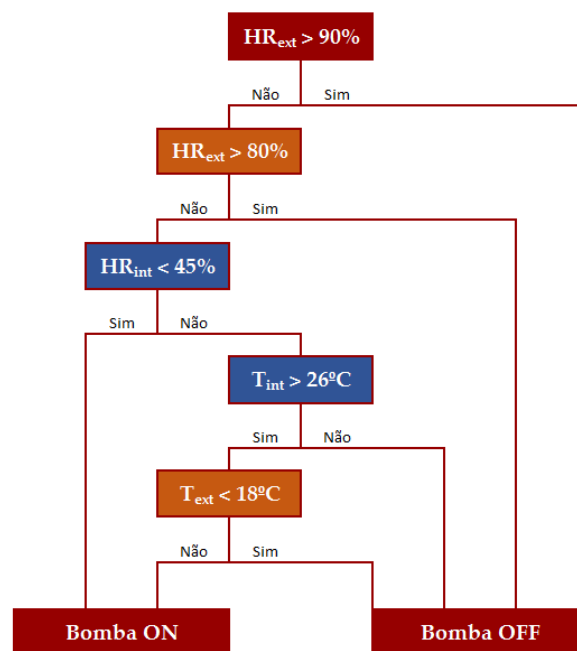
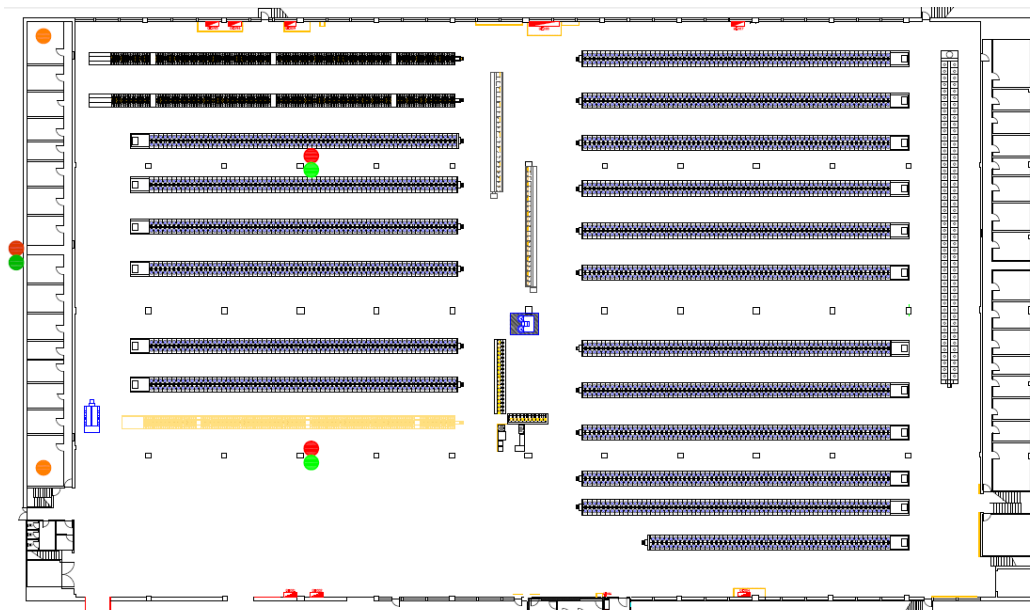


Figura 4.7 – Diagrama representativo do controlo on/off da bomba centrífuga de recirculação de água das centrais de climatização.

Uma vez que o arrefecimento evaporativo se dá por humedificação do ar, a humidade relativa será sempre o parâmetro mais importante. Como tal, o primeiro valor do diagrama, ao contrário dos restantes, não irá ser alterável pelo utilizador, daí que a figura 4.7 tenha dois parâmetros para a humidade exterior. Basicamente, define-se que uma humidade relativa do ar exterior igual ou superior a 90% nunca permitirá ligar a bomba, pois mesmo o sistema tendo um rendimento elevado, este ar já se encontra de tal forma saturado que seria maior o desperdício do que o ganho.

Supondo que, numa situação extrema, em que seja necessário refrescar o salão e o ar exterior se encontra com mais de 90%HR e com mais de 23°C, é errado pensar-se que se deve ligar as bombas para baixar a temperatura do ar, pois este já tem um elevado grau de humidade e pouco mais conseguirá absorver, de modo que, pouco baixará dos 23°C e a bomba (de 30kW de potência) estará ligada, gastando energia de forma pouco proveitosa.

Com vista a poder-se visualizar, o ganho do sistema, decidiu-se acrescentar mais uma sonda de temperatura por cada central, localizada à saída do ventilador e com o sensor de medição inserido na conduta, de maneira a ter-se uma leitura da temperatura de insuflação do ar. A figura 4.8 mostra a distribuição das sondas de temperatura e humidade.



**Figura 4.8 – Layout do posicionamento de sondas de temperatura e humidade para o sistema de insuflação de ar fresco.**

Os sensores exteriores encontram-se perto das câmaras de admissão de ar, numa das fachadas do edifício. Os sensores interiores situam-se num ponto central de cada zona, primeiro, porque se evita a proximidade com grelhas de insuflação de ar fresco colocadas no teto e, segundo, porque são zonas próximas do local de laboração dos operadores.

Importa ainda realçar que existe uma condição inicial para que todo o controlo esquematizado no diagrama da figura 4.7 seja ativado, que é a comutação *on/off* do ventilador de insuflação. Ou seja, só faz sentido ligar as bombas de água se o ventilador estiver também ligado, caso contrário incorre-se num desperdício de água, uma vez que não existe fluxo de ar para o interior do salão.

Por último, resta apenas referir que a bomba funcionará sempre na velocidade máxima, sem que haja, pelo menos por agora, benefício na variação da velocidade. Este ponto deve-se essencialmente aos requisitos dos atomizadores de água que, para terem um melhor rendimento de humidificação do sistema, necessitam ser abastecidos com água a alta pressão. Apesar disso, o equipamento de controlo será equipado com saídas analógicas de reserva caso, no futuro, se encontre vantagens em se poder reduzir a velocidade da bomba, sem prejuízo para a humidificação.

#### **4.2.3 Sistema de Controlo**

Embora se tenha traçado a metodologia do programa para controlo das bombas e dos ventiladores, o sistema proposto, até agora, tal como está, ainda se encontra com algumas lacunas. Aliada à comutação *on/off* dos equipamentos referidos deve ser traçada uma estratégia de controlo com histerese, pois se nada for feito, o sistema será permissivo quanto a ligar e desligar os equipamentos em curtos espaços de tempo.

Existem algumas formas de resolver este problema e todas dependem sempre das características do sistema. Neste caso em concreto, e uma vez que os equipamentos apresentam elevada potência, não é de todo vantajoso que em curtos intervalos de tempo haja uma comutação *on/off*.

#### 4.2.3.1 Parametrização dos Intervalos para a Bomba de Água

Deste modo, a estratégia adotada, para as bombas centrífugas de água, baseia-se, essencialmente, em três pontos:

- *Temporização Simples* – Definiu-se que, em modo automático, a partir do primeiro ciclo *On* da bomba, é necessário aguardar 5 minutos, mínimos, para que esta possa desligar, mesmo que as condições de *set-point* sejam atingidas. O mesmo acontece quando a bomba se desliga, os mesmos 5 minutos são necessários para que seja permitido ao sistema voltar a ligar a bomba, independentemente das condições de *set-point* e leituras.

A figura 4.9 representa o diagrama temporal das condições para ligar/desligar e a respetiva ativação ou não da bomba (*Output*). Contudo, o controlo acima descrito ainda se mostra um pouco permissivo quanto a repetições sistemáticas de ciclos de 5 minutos, o que é igualmente indesejável, mesmo que seja muito reduzida a probabilidade de ocorrência.

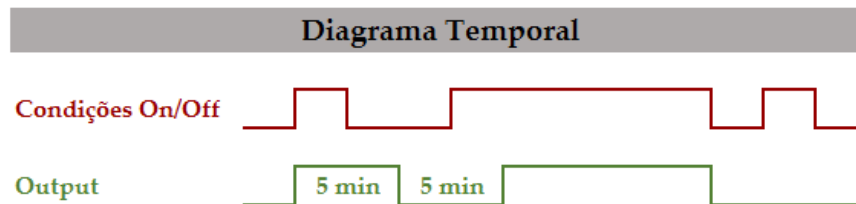


Figura 4.9 – Diagrama temporal do *output* para bomba, com temporização de ligar/desligar.

- *Temporização com Contador* – De modo a prevenir que a condição acima se repita vezes seguidas sem conta, elaborou-se uma estratégia de temporização, mas com contador.

Basicamente, a ideia adotada consiste em fazer uma contagem de dois ciclos *On/Off*, sendo que a saída do contador fica ativa na segunda transição descendente do sinal para a bomba de água (*Output*), se estas transições ocorrerem num intervalo inferior ou igual a 15 minutos. Depois de ativo, o contador só permitirá uma nova ordem para ligar a bomba, passados 15 minutos.

A figura 4.10 demonstra o diagrama temporal abordado anteriormente, complementado com este novo requisito, de forma a anular essa falha.

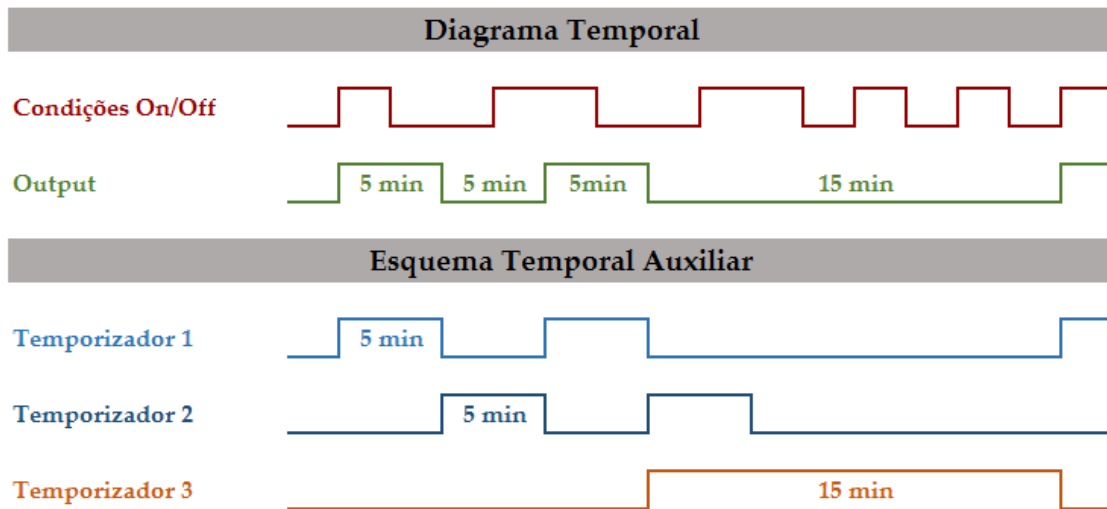


Figura 4.10 – Diagrama temporal do *output* para bomba, com eliminação da ocorrência de *on/off* sistemático.

- *Condições limite dos set-points* – Aliadas aos temporizadores, tornou-se necessário definir condições limite do sistema, para auxiliarem estes tempos, que apesar de tudo, são curtos para o sistema em questão.

As condições estabelecidas anteriormente protegem o sistema de forma a obter-se sempre um tempo mínimo de pausa ou de trabalho, no entanto, torna-se necessário definir situações que criem de facto um intervalo de comutação ligado aos *set-points*. Estas serão denominadas como condições limite e representam um *offset* dos *set-points* de temperatura e humidade, de tal forma que só ultrapassado esse *offset* e desde que decorridos os 5 minutos ditados pelo temporizador, pois este parâmetro é dominante, a bomba será forçada a ligar/desligar.

As condições limite não se atingem tão facilmente nem com tamanha rapidez, uma vez que o sistema possui elevada inércia devido ao enorme volume. Todavia, com esta estratégia o sistema fica protegido contra comutações em curtos espaços de tempo.

Definiu-se uma histerese de 1°C para temperaturas e 5% para humidades relativas, no entanto estes valores representam apenas a sugestão inicial para o programa. Como são parâmetros de cariz mais fixo não se encontram disponíveis para alteração pelo

utilizador, no entanto de futuro, se assim for desejável, facilmente se colocam editáveis na consola de controlo que comandará os restantes *set-points*.

#### 4.2.3.2 Parametrização dos Intervalos para o Ventilador de Insuflação

O controlo para acionar o ventilador de insuflação de ar fresco identifica-se bastante com o definido para as bombas de água:

- *Temporização Simples* – Novamente, em modo automático, a partir do primeiro ciclo *On* do ventilador, será necessário aguardar 5 minutos, para que este possa desligar, mesmo que as condições de *set-point* sejam atingidas e vice-versa.

Ao contrário do sucedido com as bombas, nesta secção, não se identificou benefício na temporização com contador.

- *Condições limite dos set-points* – Também à semelhança do estipulado para o controlo do arrefecimento, aliadas aos temporizadores, definiram-se condições limite do sistema que nesta secção ganham outra importância uma vez que a ventilação é controlada por diferença de pressão e esta última varia de forma mais rápida que os restantes parâmetros de *set-point*.

Assim, definiu-se uma histerese de 0.5 Pa para as pressões, no entanto estes valores representam, novamente, uma sugestão inicial para o programa, uma vez que é muito difícil prever o quão rápido variará este valor.

### 4.3 Equipamentos

Traçada a estratégia para controlo do sistema, reuniram-se as condições para determinar o material necessário. Procedeu-se a um levantamento dos equipamentos existentes, do qual se definiu quais seriam mantidos, quais se renovariam e quais as novas necessidades. A figura 4.12 contém a tabela com os equipamentos existentes nas CC 1 e 2.

Lista de Material Existente			
Item	Empresa	Modelo / Referência	Quantidade
PLC	OMRON	C200HG	1
Fonte de Alimentação do PLC	OMRON	PA204S	1
PC Link Unit	OMRON	LK401	1
Comunicação com o PLC da 3 e 4	OMRON	CIF11	1
Módulo de Entradas Digitais, 24VDC, 16 entradas	OMRON	ID212	3
Módulo de Entradas Analógicas max. 8 entradas	OMRON	AD002	1
Módulo de Saídas Analógicas, 4 saídas	OMRON	DA002	2
Módulo de Saídas Digitais, 24VDC, 16 saídas	OMRON	OC006	1
Fonte de Alimentação HMI 24VD	OMRON	S8PS-05024CD	1
Bloco de Relés de Interface	OMRON	G70A-ZOC16-3	1
Transformador	Tirsol		1
Disjuntor Bipolar Multi 9 - C60N - C6	Merlin Gerin	24335	1
Disjuntor Unipolar Multi 9 - C60N - C10	Merlin Gerin	24401	3
Disjuntor Unipolar Multi 9 - C60L - C10A	Merlin Gerin	25397	1
Interruptor Diferencial Multi9 ID	Merlin Gerin	23011	1
Bloco de Distribuição 100A - 40°C	Legrand	048 80	1
Variador de Frequência Ventilador CC1	ABB	ACS800-01-0400-3	1
Variador de Frequência Bomba CC1	ABB	ACS800-01-0500-3+B056	1
Variador de Frequência Ventilador CC2	ABB	ACS550-01-087A-4+B055	1
Variador de Frequência Bomba CC2	ABB	ACS401003032	1
Motor da Bomba Centrífuga Central 1 30kW	Grundfos	MMG200LA-2-55-E2	1
Bomba Centrífuga Central 1	Grundfos	NK65-200/217 A1-F-A-BAQ	1
Motor da Bomba Centrífuga Central 2 18,5kW	AEG	AM180M4	1
Bomba Centrífuga Central 2	Halberg		1
Ventilador 37 kW	WEG	W22 Premium	1
Ventilador 37 kW	ABB	MBT 250M-6B	1
Sensor T e H exterior	Status Instruments	SME164 w3 HP	5

Figura 4.11 – Lista de material existente no sistema de insuflação.

Da listagem da figura 4.11 verifica-se a existência de um autómato com diferentes cartas de entradas e saídas, mas que contém um programa desatualizado e que apenas serve para controlar o sistema de forma manual através do quadro de botoneiras presente na figura 4.12.

De todos os equipamentos existentes, apenas se manterão os variadores de frequência, os ventiladores e as bombas de recirculação de água, à exceção da bomba presente na CC nº2 que, como explicado no capítulo 5.4, foi substituída devido a fatores de desgaste e pressão de serviço.

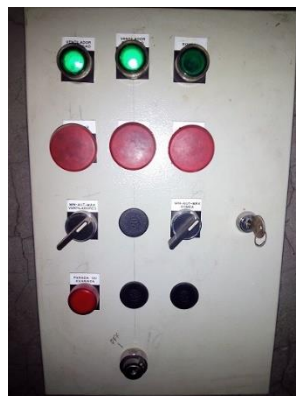


Figura 4.12 – Quadro elétrico de comando de uma central de climatização.



O PLC e todos os equipamentos de controlo adjacentes a ele serão substituídos por componentes mais modernos, devido às suas limitações e descontinuidade. O mesmo se passa com os sensores de temperatura e humidade que, para além de representarem modelos antigos e descontinuados, em grande parte encontram-se com um dos canais de medição avariado.

### **4.3.1 Equipamentos de Campo**

Este subcapítulo é dedicado aos equipamentos responsáveis pela medição das condições do sistema. Os requisitos expostos no capítulo 4.2 foram fulcrais para a escolha acertada destes equipamentos.

Um fator muito importante a ter em conta na escolha de qualquer sensor, para além dos intervalos de medição e da sua precisão, é a forma como o sinal é transmitido. A transmissão por corrente oferece vantagens em ambientes industriais, o sinal não é suscetível a interferência elétrica e a perdas devido a comprimento elevado dos cabos [26].

A escolha dos equipamentos terá sempre como preferência uma transmissão de sinal em corrente e de 4-20 mA, uma vez que permite uma deteção fácil de falha pois o seu ponto “0” encontra-se nos 4 mA e, dessa forma, se uma leitura negativa for mostrada, existe um problema no sinal.

#### **4.3.1.1 Transdutores de Pressão Diferencial**

No capítulo 4.2 definiu-se que o controlo dos ventiladores de insuflação seria feito através da leitura dada por uma pressão diferencial e nesse mesmo capítulo explicou-se que os intervalos de medição deviam ser curtos.

Atendendo a estes fatores e ao sinal de transmissão, realizou-se uma pesquisa ao mercado tendo-se adquirido o transdutor representado na figura 4.13.



**Figura 4.13 – Transdutor de pressão diferencial Kimo CP111-AO.**  
Lado direito mostra configuração dos *dip switches*.

O transdutor escolhido, apesar de ter um intervalo de medição de 0 a 100 Pa pode ser ajustado para valores entre 0 a 20 Pa no próprio transdutor, através da configuração dos *DIP Switches* mostrados na figura 4.14. Este foi um dos pontos positivos para a escolha. Através da reconfiguração dos restantes *DIP Switches*, como é possível verificar pelo anexo E, escolheu-se um intervalo de -10 a 10Pa.

#### 4.3.1.2 Sensores de Temperatura

O sistema necessita de uma medição de temperatura em vários pontos e os sensores existentes encontram-se em mau estado. Existem três tipos diferentes de ambiente em que os sensores serão colocados, um no interior do salão, outro dentro da conduta de insuflação e outro no exterior, que representa o que estará exposto ao ambiente mais “agressivo”.

Os sensores de temperatura são transdutores que convertem a grandeza física temperatura num sinal elétrico e podem ser classificados em três tipos principais, sensores resistivos, termoeletricos e infravermelhos. A escolha do sensor mais adequado foi feita tendo em conta as características de cada tipo, o custo, e os requisitos da medição para o sistema.

As termoresistências PT100, pelas suas vantagens sobre os termopares, que neste caso residem no facto de possuírem intervalos menores de medição e com uma maior

precisão, foram o tipo escolhido para a medição da temperatura. Por norma as RTD (*Resistive Temperature Detectors*) são identificadas pelo material de que são constituídas e pela resistência que apresentam aos 0°C (Pt100 – RTD de platina com uma resistência de 100  $\Omega$  aos 0°C) [27].

Após consulta ao mercado, foram escolhidas as PT100 da empresa *FFonseca*, com uma ligação de três fios, que permitem determinar com alguma exatidão a resistência dos fios de ligação e, por sua vez, o equipamento de medição faz a compensação da resistência minimizando os erros. Este é o método mais comum na indústria. A figura 4.15 contém um exemplar da sonda adquirida ao fornecedor.



**Figura 4.14 – Foto da termoresistência escolhida.**

As sondas têm uma gama de medição de -40 a 300°C, um dos fatores mais preponderantes na sua escolha, uma bainha de proteção de 6 mm de diâmetro por 200 mm de comprimento e um Índice de Proteção (IP) de 66. Um IP66 representa uma boa proteção a poeiras e a água também.

#### **4.3.1.3 Sensores de Humidade Relativa**

Os sensores de humidade relativa no sistema localizam-se em dois pontos, no interior do salão e no exterior. Desta forma o sensor exterior requer mais cuidados e, por isso o seu IP deverá ser mais elevado.

Nestes equipamentos, a escolha não se prendeu com o intervalo de medição, uma vez que todos apresentam o mesmo (0 - 100%HR), mas sim com a transmissão de sinal e o índice de proteção.

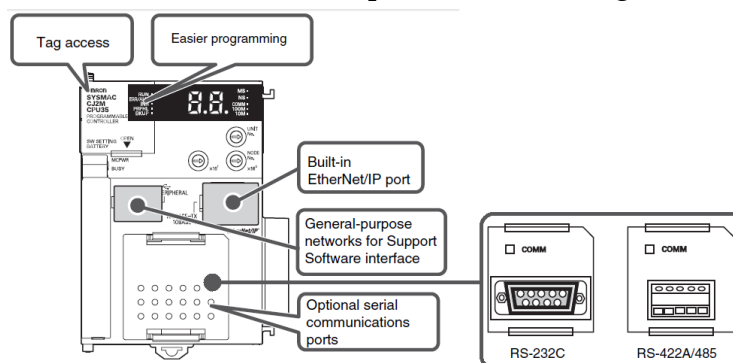
Assim sendo, o sensor escolhido para o interior do salão foi o EGH120F041 da marca *Sauter*, com transmissão de sinal de 4-20 mA, IP30 e medição de temperatura também. O anexo F contém a folha de características deste aparelho de medição.

O sensor escolhido para o exterior, EHDT-9 da marca *Sauter*, detém um IP65 e o escudo de proteção intempérie. Todos os sensores de humidade da marca *Sauter* são combinados com medição de temperatura, o que poderia levar a prescindir da aquisição das termorresistências abordadas, no entanto, para este sistema e para uma melhor precisão da medição, optou-se por manter a compra das RTD (PT100).

#### 4.3.2 Equipamento de Comando

Reunidos os equipamentos de campo a serem utilizados e os equipamentos de elevada potência a serem controlados, resta estabelecer quais serão os aparelhos responsáveis pelo controlo do sistema. Após contacto com o fornecedor, OMRON, percebeu-se que a gama de autómatos C200H é uma gama bastante antiga que se encontra descontinuada ou em vias de o ser e grande parte das suas cartas de entradas e saídas também.

Uma vez que empresa apresentou preferência pela marca referida anteriormente, devido à existência de equipamentos similares instalados no controlo de outros componentes e tendo disponibilizado um PLC de reserva presente nas instalações, esse constituiu o ponto de partida para a definição dos restantes constituintes. O modelo de autómato utilizado é CJ2M-CPU31, esquematizado na figura 4.15.



**Figura 4.15 – Ilustração do PLC CJ2M e identificação das características principais [28].**

Uma das vantagens deste equipamento reside na oferta de vários protocolos de comunicação, incluindo *Ethernet*. A comunicação via *Ethernet* tornou-se cada vez mais utilizada, pois possibilita que o PLC e a HMI sejam ligados através da infraestruturas de rede já existente permitindo assim poupar no comprimento dos cabos. Além disso permite, sempre que desejável, relocalizar a consola de interface sem muito trabalho, pois basta fornecer novos pontos de rede e ativá-los.

A tabela 12 contém a listagem de entradas e saídas analógicas necessárias e a tabela 13 as digitais.

**Tabela 12 – Lista de pontos para sinais analógicos do sistema.**

Lista de Sinais Analógicos do Sistema		
Tipo	Nº	Descrição
Entradas	1	Leitura Transdutor de Pressão CC 1
	2	Leitura Transdutor de Pressão CC 2
	3	Leitura Temperatura Exterior
	4	Leitura Humidade Exterior
	5	Leitura Temperatura Interior CC 1 Salão
	6	Leitura Temperatura Interior CC 1 Conduta
	7	Leitura Temperatura Interior CC 2 Salão
	8	Leitura Temperatura Interior CC 2 Conduta
	9	Leitura Humidade Interior CC 1
	10	Leitura Humidade Interior CC 2
Saídas	1	Controlo Ventilador CC 1
	2	Controlo Bomba de Água CC 1
	3	Controlo Ventilador CC 2
	4	Controlo Bomba de Água CC 2

Para os sinais digitais importa realçar que se pretende que o controlo manual continue disponível, mas que seja reformulado. O controlo manual continua a ser desejado por constituir uma segurança, em caso de falha da HMI, permitir a realização de testes ao sistema fora do âmbito do funcionamento normal e também por contornar o controlo automático, no caso de este se encontrar com problemas. A listagem de sinais digitais presente na tabela 13 deve grande parte da sua extensão, a este novo quadro para controlo manual.

Tabela 13 – Lista de pontos para sinais digitais do sistema.

Lista de Sinais Digitais do Sistema			
Nº	Entradas	Nº	Saídas
1	Run Variador Vel. Ventilador CC 1	1	Start Ventilador CC 1
2	Fault Variador Vel. Ventilador CC 1	2	Reset da falha Ventilador CC 1
3	Run Variador Vel. Bomba de Água CC 1	3	Start Bomba de Água CC 1
4	Fault Variador Vel. Bomba de Água CC 1	4	Reset da falha Bomba de Água CC 1
5	Run Variador Vel. Ventilador CC 2	5	Start Ventilador CC 2
6	Fault Variador Vel. Ventilador CC 2	6	Reset da falha Ventilador CC 2
7	Run Variador Vel. Bomba de Água CC 2	7	Start Bomba de Água CC 2
8	Fault Variador Vel. Bomba de Água CC 2	8	Reset da falha Bomba de Água CC 2
9	Comutação - Automático (Q.E.)	9	Sinalizador Ventilador CC 1 - Ligado
10	Comutação - Manual (Q.E)		
11	Botoneira Ligar Ventilador CC 1	10	Sinalizador Bomba de Água CC 1 - Ligada
12	Botoneira Desligar Ventilador CC 1	11	Sinalizador Ventilador CC 1 - Falha
13	Botoneira Ligar Bomba de Água CC 1	12	Sinalizador Bomba de Água CC 1 - Falha
14	Botoneira Desligar Bomba de Água CC 1	13	Sinalizador Ventilador CC 2 - Ligado
15	Botoneira Ligar Ventilador CC 2	14	Sinalizador Bomba de Água CC 2 - Ligada
16	Botoneira Desligar Ventilador CC 2	15	Sinalizador Ventilador CC 2 - Falha
17	Botoneira Ligar Bomba de Água CC 2	16	Sinalizador Bomba de Água CC 2 - Falha
18	Botoneira Desligar Bomba de Água CC 2		
19	Emergência CC1		
20	Emergência CC2		

No total são necessárias dez entradas analógicas, dezassete entradas digitais, quatro saídas analógicas e dezasseis saídas digitais. Como grande parte das cartas digitais possibilita a conexão de dezasseis sinais, serão necessários dois módulos de entradas e um de saídas.

Para o domínio analógico existem cartas de entradas para oito comunicações, contudo, por sugestão do fornecedor, uma vez que o sistema contém termorresistências, foram adquiridas cartas de entradas analógicas universais, com possibilidade de conectar apenas quatro sensores por módulo (necessários três módulos). Estas cartas estão preparadas para comunicar com PT100, através de ligação de três fios, sem necessidade de nenhum transmissor de sinal o que representou uma vantagem na sua escolha. No caso das saídas analógicas, um módulo de oito canais é o suficiente.

Tendo em conta o manual de utilização do PLC CJ2M, a *CPU Rack* pode conter um número máximo de dez módulos sendo que a partir daí seria necessário uma segunda *rack* de expansão com uma nova fonte de alimentação e uma unidade de controlo I/O. Neste caso contabilizam-se sete, valor que se encontra dentro do limite.

A fonte de alimentação para o sistema de comando é definida através de cálculos dos consumos dos módulos. Através do manual de utilização foram retirados os valores de consumo das unidades escolhidas e as características das diferentes fontes. A figura 4.16 mostra a folha de cálculo que serviu de apoio na escolha da fonte de alimentação correta para o sistema.

Cálculo para Fonte de Alimentação					
Power Supply Unit	Power Supply Voltage	Max. current consumption			Max. total power consumption [w]
		5-V group (internal logic) [A]	24-V group (relays) [A]	24-V group (service)	
CJ1W-PA205R	100 to 240 VAC	5,00	0,8	None	25,00
CJ1W-PA205C	100 to 240 VAC	5,00	0,8	None	25,00
<b>CJ1W-PA202</b>	<b>100 to 240 VAC</b>	<b>2,80</b>	<b>0,4</b>	<b>None</b>	<b>14,00</b>
CJ1W-PD025	24 VDC	5,00	0,8	None	25,00
CJ1W-PD022	"non-insulated"	2,00	0,4	None	19,60

Unidade	Modelo	Quantidade	Consumo de Corrente [A]	
			Grupo 5-V	Grupo 24-V
PLC CPU Unit	CJ2M - CPU31	1	0,70	
Digital Input Unit	CJ1W - ID211	2	0,08	
Digital Output Unit	CJ1W - OC211	1	0,11	0,096
Universal Analog Input Unit	CJ1W - AD04U	3	0,32	
Analog Output Unit	CJ1W - DA08C	1	0,14	
End Cover	CJ1W - TER01	1		

consumo incluído no CPU

Corrente Consumida	Tem de ser <= 2,8 [A]	Tem de ser <= 0,4 [A]
Total Corrente Consumida	2,07	0,096
Calc. Potência Consumida	[A] x 5 [V] = _ [w]	[A] x 24 [V] = _ [w]
Total Potência Consumida	10,35	2,304
		Tem de ser <= 14 [w]
		<b>12,65</b>

Figura 4.16 – Folha de cálculo auxiliar para determinação da fonte de alimentação ideal.

A folha de cálculo teve por base a fonte de alimentação assinalada a vermelho na figura 4.16 por ser um modelo mais económico. No final, com o somatório dos totais de potência consumida dos 2 grupos (5V e 24V) chegou-se a um valor inferior ao valor limite para a fonte em questão, o que tornou o modelo elegível.

É ainda importante notar que, segundo o manual de utilizador dos módulos de entradas analógicas escolhidas para a fonte de alimentação determinada, apenas é possível acoplar quatro módulos no total. Mais uma vez o sistema encontra-se dentro do valor limite e por isso sem necessidade de reformulação da fonte.

Por último, definiu-se o equipamento responsável pela interface homem-máquina. Recorrendo ao mesmo fornecedor e tendo em conta a preferência por comunicação *Ethernet*, escolheu-se o modelo NB7W-TW01B, que representa uma consola de sete polegadas a cores e que permite a apresentação de alarmes e eventos em tempo real e históricos.

#### 4.3.3 Quadro Elétrico

Um fator comum de todos os sistemas de controlo é a existência de um Quadro Elétrico (QE), que contém os equipamentos de controlo abordados, anteriormente, e as ligações aos componentes exteriores, como por exemplo, variadores e equipamentos de campo.

O QE pode conter apenas a parte de controlo, a parte de potência ou ambos desde que bem separados. No projeto em questão tornou-se necessária a aquisição de um novo QE e, dessa forma, decidiu-se que a alimentação dos variadores de frequência que comandam os ventiladores e bombas de água, que está presente num outro QE, passaria a integrar este novo.

Desta forma, começou-se por calcular o Índice de Curto-Circuito ( $I_{cc}$ ) de maneira a ser possível dimensionar os disjuntores de corte da alimentação dos variadores. A equação 5 demonstra a realização do cálculo para o  $I_{cc}$ , em que  $U_f$  representa a Tensão de Alimentação (400V) e  $Z$  a Impedância.

$$I_{cc} = (U_f / (\sqrt{3} \times Z)) \quad (5)$$

Para o cálculo da impedância, o valor das reatâncias foram desprezadas por não possuírem expressão face ao das resistências. A equação 6 mostra o cálculo da resistência, sendo  $\rho$  a resistividade do cobre,  $l$  o comprimento do cabo e  $s$  a secção do mesmo.

$$R = \rho \times (l/s) \quad (6)$$

A alimentação dos variadores de frequência é dada por dois cabos, por fase, de 120 mm<sup>2</sup> de secção cada um e com um comprimento de 157 m, uma vez que provêm do Quadro Geral de Baixa Tensão (QGBT) nº2, que se situa na ponta oposta do edifício.



Para a resistividade do cobre a 20°C em corrente contínua, e segundo o IEC28, tomou-se o valor de  $0,017 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ . Concluindo, o  $I_{cc}$  necessário para os disjuntores dos variadores de frequência é de aproximadamente 12 kA.

Após consulta com o fabricante dos variadores de frequência ABB, os disjuntores sugeridos, da marca *Schneider Electric* foram os NSX160B + *Micrologic* M5.2, ou seja disjuntores de 160 A e com possibilidade de regulação. No entanto, devido ao preço elevado destes componentes foi feita uma revisão para utilização de fusíveis que, embora tenham uma utilização sacrificial, reduzem bastante o orçamento do quadro.

Para alimentação dos sensores, será necessária uma fonte de 24 VDC. Durante a escolha destes equipamentos de campo houve uma tentativa de uniformização da alimentação para que o QE apenas necessitasse de uma fonte, para alimentar todos os sensores.

De maneira a dotar o autómato de algum tempo de atuação em caso de falha de energia, o QE terá uma *UPS (Uninterruptible Power Supply)*, com autonomia de aproximadamente 6 minutos.

Atualmente, existem dois analisadores de energia, que registam os consumos efetuados pelas centrais 1 e 2 e, portanto, a sua inclusão no novo QE torna-se importante. A figura 4.17 ilustra o esquema elétrico de alimentação do quadro, sem referência às ligações dos sensores nem do sistema de controlo.

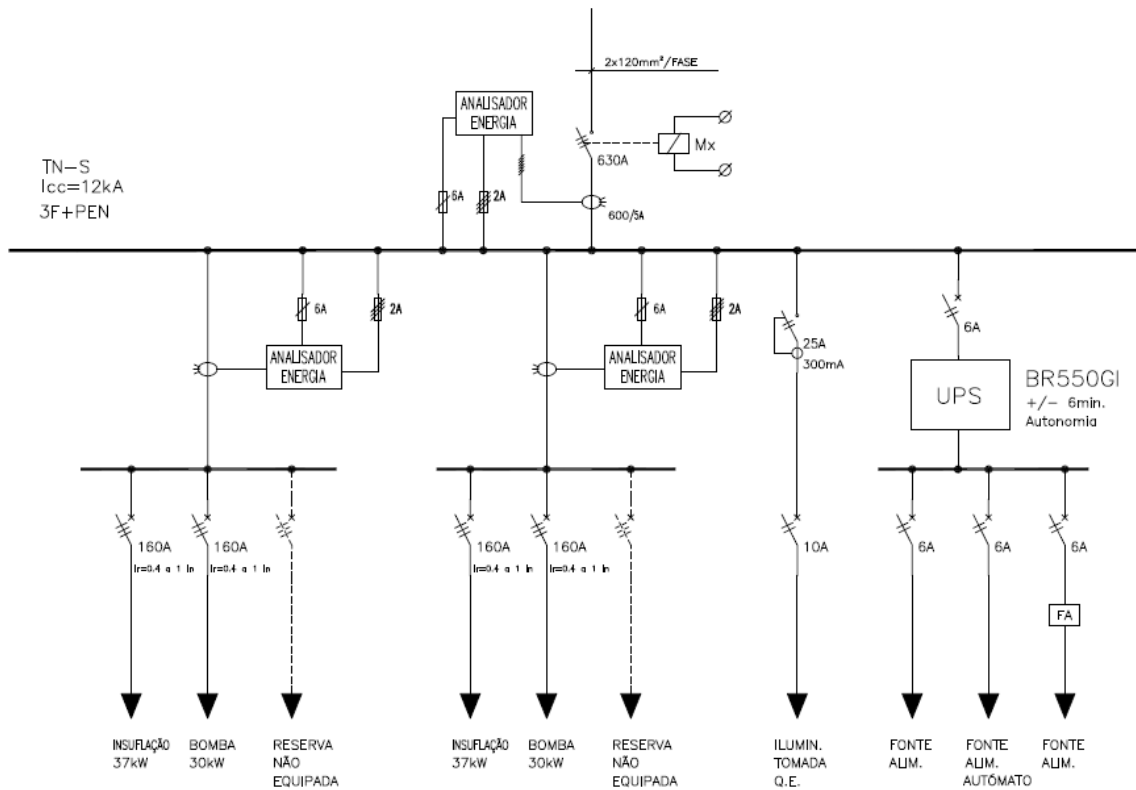


Figura 4.17 – Esquema elétrico de alimentação do sistema.

Este QE de controlo e alimentação do sistema irá situar-se na zona técnica do quadro anterior e deve ainda possuir iluminação e ventilação a nível superior com grelhas ao nível inferior. O QE para a HMI e atuação manual irá situar-se no local do QE da figura 4.12, que representa o quadro a desinstalar.

Por último, importa realçar dois aspetos importantes, a inclusão de botoneira de emergência, com desencravamento por chave, para o corte de todo o sistema e o comutador Manual/0/Automático, com chave de encravamento para que apenas um utilizador autorizado possa mudar o sistema para modo manual e vice-versa.

#### 4.3.4 Orçamentos

O orçamento para o material abordado neste capítulo foi analisado e submetido a aprovação da empresa. A tabela 14 contém os preços para os equipamentos por forma a poder-se estimar um retorno do investimento.

Tabela 14 – Lista de orçamentos para aquisição de material para o sistema.

Lista de Orçamentos						
Item	Marca	Modelo	Qty.	Preço Un. [€]	Total [€]	Estado
PLC	OMRON	CJ2M-CPU31	1	641,25	641,25	Adquirido
HMI	OMRON	NB7W-TW01B	1	123,75	123,75	Adquirido
Módulo 16 Entradas (Ter. Parafuso)	OMRON	CJ1W-ID211 CHN	2	131,25	262,5	Adquirido
Módulo 16 Saídas Relé (Ter. Parafuso)	OMRON	CJ1W-OC211 CHN	1	146,25	146,25	Adquirido
Módulo 4 Entradas Analógicas Universais 1/12000	OMRON	CJ1W-AD04U -NL	3	427,4	1282,5	Adquirido
Módulo 8 Saídas Analógicas Corrente 1/8000	OMRON	CJ1W-DA08C	1	693,75	693,75	Adquirido
F. Alimentação 100 a 240VAC 5VDC 5A Relé RUN 25W	OMRON	CJ1W - PA202	1	487,5	487,5	Adquirido
Fonte de Alimentação 60W/24V/2.5A calha DIN	OMRON	S8VK-G06024	1	52,5	52,5	Adquirido
Transdutor Pressão Diferencial	Kimo	CP111-AO	2	248	496	Adquirido
Tubos de Ligação de Cristal (25m)	Kimo	TC5X8	4	18	72	Adquirido
Sonda de Temperatura PT100	FFonseca	PT100.1-S 3F-06X200-DB-R12	3	53	159	Adquirido
Sonda de Humidade Interior	Sauter	EHDT-9	2	243	486	Adquirido
Sonda de Humidade Exterior + Proteção	Sauter	EHDT-9 + SS1	1	676,41	676,41	Adquirido
Quadros Elétricos	PrismaPor		1	4226,43 + 583,45	4809,88	Adquirido
Instalação Elétrica	JMarcelo		1	6580	6580	Adquirido
Total					16.909,89	

Como se pode verificar, o investimento, em parte já realizado, é elevado. Contudo, retomando o valor de possível poupança de 1370€, por CC, calculado no capítulo 4.1 através da equação 4, e tendo em conta que essa poupança se pode verificar nos meses mais frios, de novembro até março, em menos de um ano é feito, praticamente, o retorno do investimento atual.

Esta estimativa de retorno é ainda um pouco grosseira, como mencionado anteriormente, apesar de tudo o horizonte de retorno de investimento não deve aumentar muito do valor acima indicado, tendo em conta a poupança realizada mesmo em meses tipicamente quentes que registem semanas mais frias e húmidas.

#### 4.4 Programa de Controlo

O equipamento escolhido para a execução do controlo do sistema, como abordado no subcapítulo 4.3, foi o PLC CJ2M-CPU31, que contém uma memória de 5000 passos. A gama de controladores lógicos programáveis da marca OMRON, possui um *software* próprio de programação designado de *CX-Programmer*, a partir do qual se desenvolveu o controlo idealizado no subcapítulo 4.2.

A figura 4.18 mostra a montagem da *rack* de controlo com ênfase para a correta identificação dos *Mach No.* nas cartas analógicas, pois esse número distingue-as umas das outras dentro do programa de controlo.

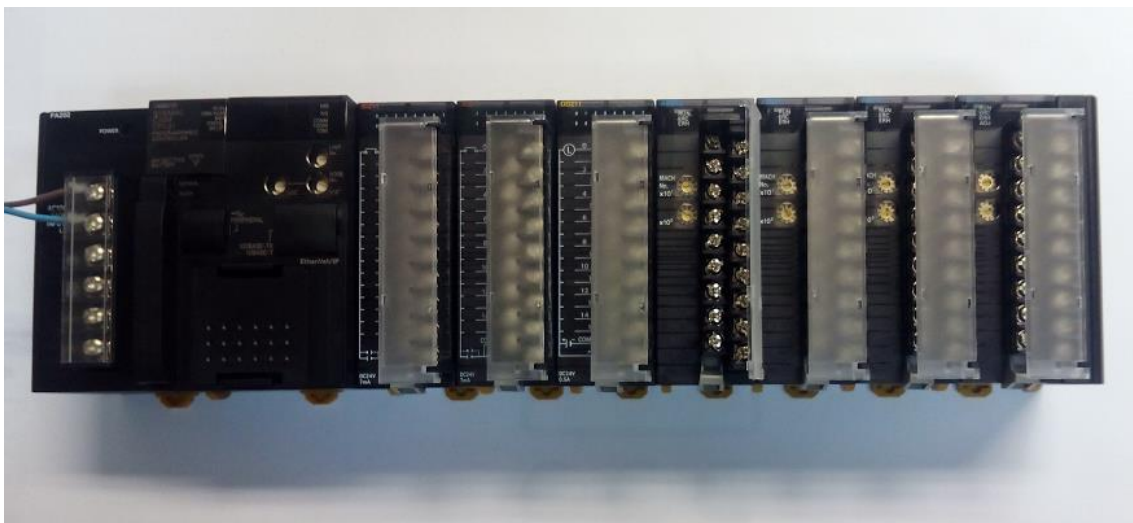


Figura 4.18 – Montagem da *rack* de controlo.

Importa realçar que os *bits* responsáveis pela identificação de falhas na leitura dos sinais de entrada, para um módulo com o número 2010, são os *bits* 2019.00 a 2019.03.

O programa de controlo elaborado divide-se em oito secções, como se pode verificar na figura 4.19, sendo a secção *End* criada automaticamente pelo programa.

Começou-se por realizar o tratamento das variáveis de entradas digitais e analógicas, movendo-as para áreas de memória do PLC, através da instrução MOV.

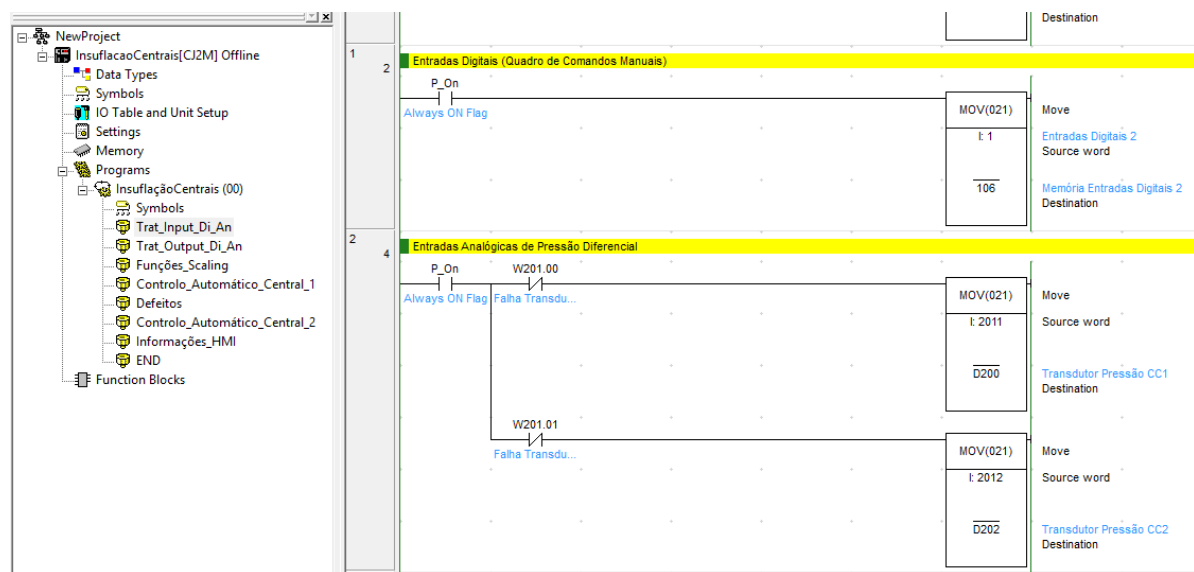


Figura 4.19 – Página de tratamento de entradas digitais e analógicas.

A figura 4.20 demonstra como o programa transforma, através da função *Scaling*, a entrada dos valores de pressão para a correta leitura.

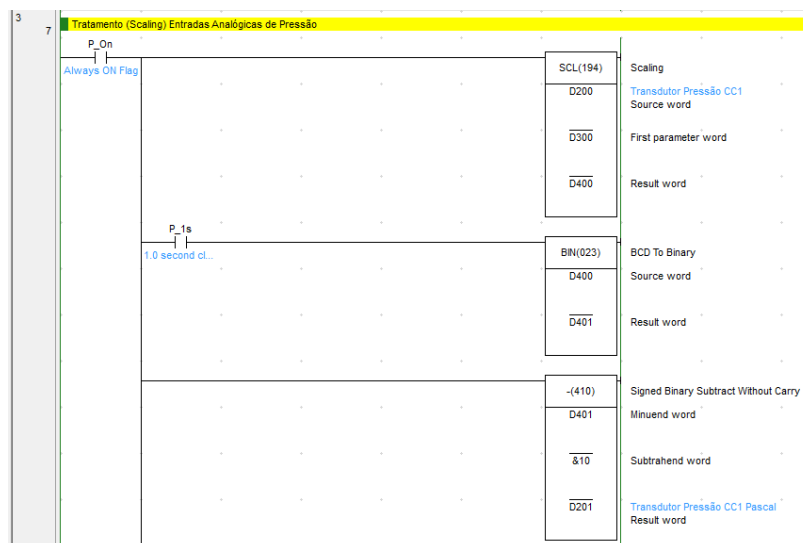


Figura 4.20 – Conversão da entrada de pressão para leitura em pascal.

Tendo em conta, que o valor final após o escalonamento se apresenta em BCD, torna-se necessário convertê-lo para binário, através da instrução BIN presente na figura 4.20, para que seja possível a sua leitura por parte da HMI. Para prevenir a variação constante da leitura da pressão diferencial, incluiu-se um contacto interno com comutação intermitente de um segundo. Por último, e como o transdutor de pressão diferencial foi configurado para apresentar uma leitura de -10 Pa a 10 Pa, a instrução de subtração de binário foi inserida.

O procedimento para as leituras de temperatura é um pouco diferente uma vez que a carta universal possui a capacidade de escalonar diretamente o valor recebido sem necessidade de recorrer à função.

O controlo automático final do ventilador da CC 1 termina com a configuração ilustrada na figura 4.21, em que o valor escalonado é transformado em binário para ser lido na carta analógica e, apenas é movido para a saída, caso os comutadores que alteram o sistema para modo para manual estejam desativados. Uma falha no variador de frequência do ventilador referido, recebida no módulo de entradas digitais, irá atuar o contacto fechado no programa e impedir que a saída da carta analógica.

A saída digital correspondente à ordem para ligar o variador é também configurada nesta secção, em que o *bit* 107.00 fica ativo, apenas quando o valor na memória D251 é maior que zero.

Na secção “Controlo\_Automatico\_Central\_1”, desenrola-se o comando principal que culmina no valor escrito na memória D322. Através de instruções de comparação é feita a adição ou subtração de uma porção de binário ao valor de referência de saída, em intervalos fixos de um em um segundo.

A histerese é feita através da função de subtração de binário (instrução -(410)), que permite obter a diferença entre os valores acima referidos. De seguida, com uma função de comparação, consegue-se identificar quando essa diferença se encontra fora do intervalo definido para *offset*. Resumindo, o sistema, depois de encontrar equilíbrio,

só voltará a adicionar ou subtrair binário, na memória D322, quando a diferença entre o valor de set-point de pressão e o valor real estiver fora do estipulado.

De notar ainda, na figura 4.21, que sempre que o sinal de saída for inferior a 1200 pontos (correspondente a 15Hz no variador), o sistema enviará na mesma esse valor, por forma a manter sempre este patamar mínimo, até chegar, eventualmente, a zero.

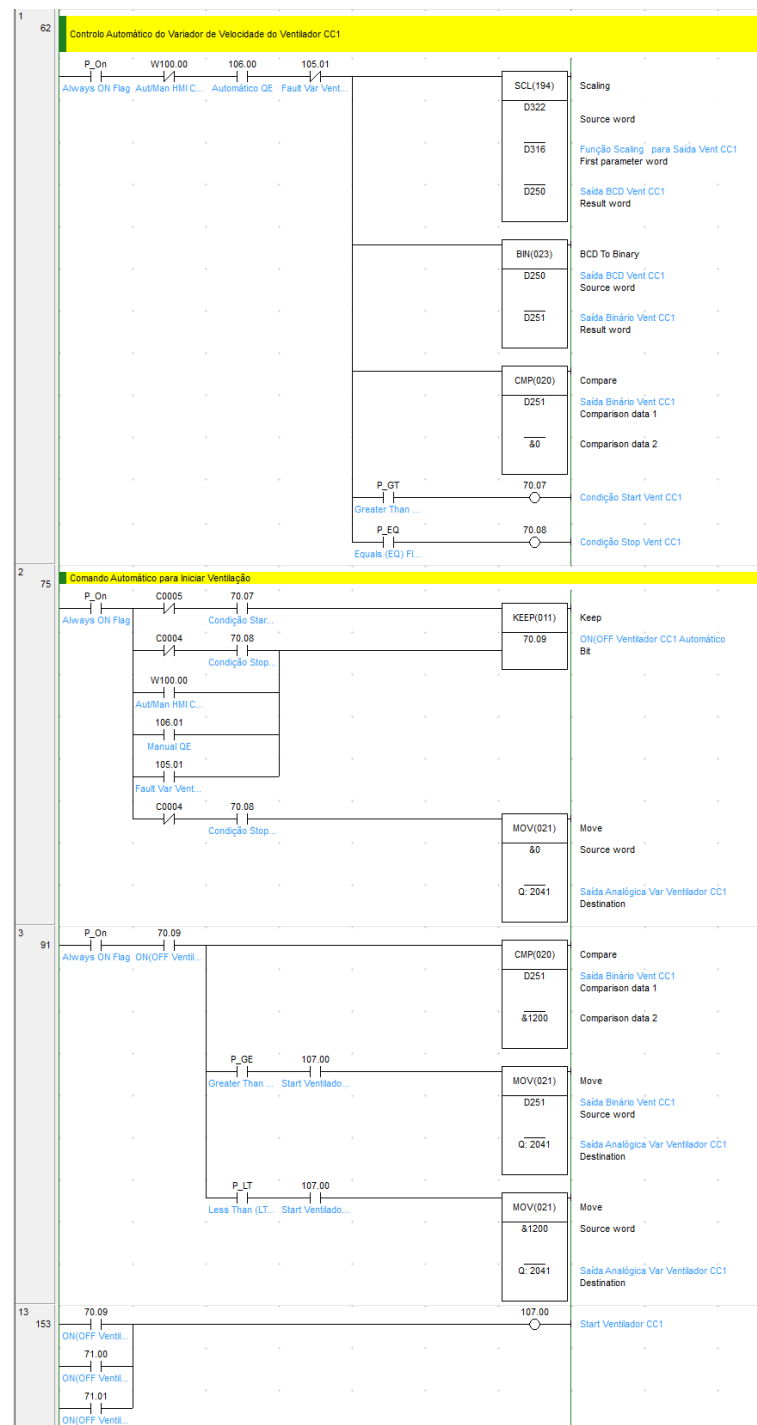


Figura 4.21 – Secção do correspondente ao controlo automático do ventilador da CC1.

O controlo manual desenrola-se de forma simples, sendo o do QE prioritário relativamente ao da HMI e permite que o utilizador não seja forçado a esperar os 5 minutos mínimos de tempo de trabalho. A vantagem do controlo manual executado na consola de interface é que esta permite, para além de ligar o ventilador da respetiva CC, regular a frequência do mesmo.

O controlo das bombas de recirculação de água, no modo manual, assemelha-se ao controlo dos ventiladores, apenas com a troca dos endereços das variáveis das entradas digitais. Neste ponto, quer na HMI, quer no QE, a frequência da bomba é sempre fixa no seu valor máximo, sem possibilidade de alteração.

Para o comando automático das bombas de água importa salientar que a saída do módulo analógico apresentará um valor máximo ou mínimo, à semelhança do controlo manual, sem que haja variação da velocidade de rotação da bomba.

Deste modo, numa primeira fase, elabora-se a comparação dos valores de leitura dos sensores com os valores de *set-point*, provenientes da HMI. Dessa comparação, realizada pela instrução CMP, são ativados *bits* conforme o valor seja superior, inferior ou igual. A figura 4.22 ilustra dois exemplos da configuração abordada. Como ambos os valores se encontram em binário a comparação pode ser feita sem necessidade de conversão prévia.

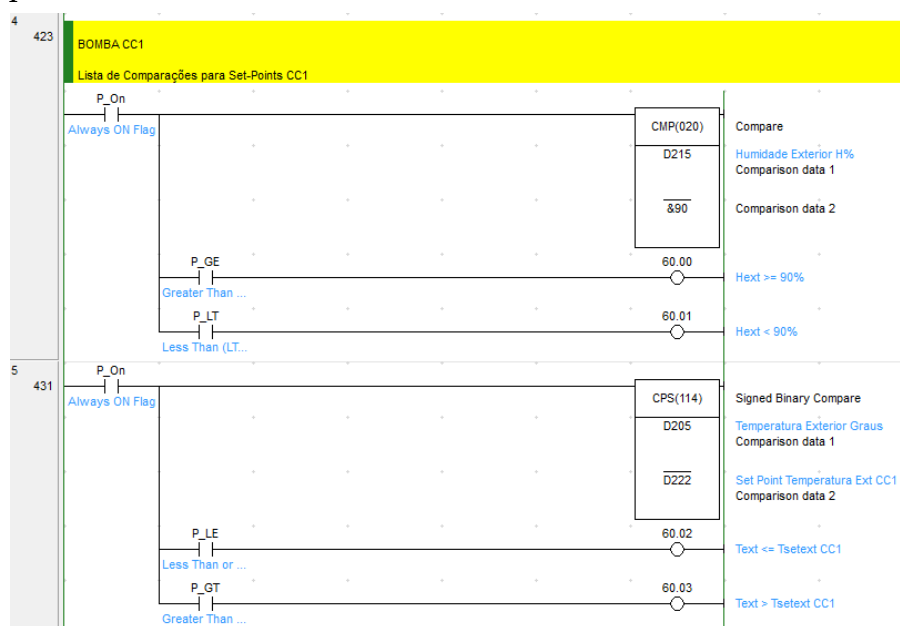


Figura 4.22 – Secção correspondente à primeira parte do controlo automático dada CC1.



Com a comutação dos *bits* provenientes dos blocos de comparação e, tendo em conta o esquema da figura 4.7 do capítulo 4.2.2, elaborou-se o esquema de comando automático presente na figura 4.24. O início da linha de programação é semelhante à linha de controlo do ventilador, em que é necessário os comutadores de modo automático/manual e a falha do variador estarem desativados. No entanto, existe uma outra condição muito importante na linha do programa, que apenas permite o arranque da bomba se o ventilador estiver a funcionar.

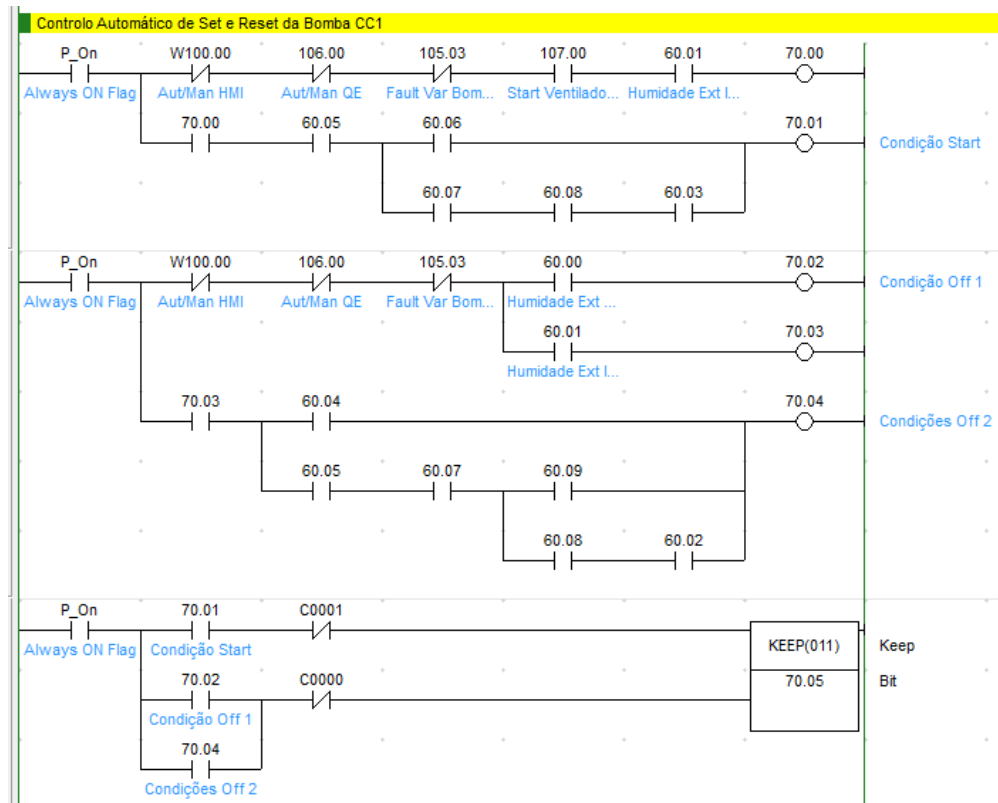


Figura 4.23 – Secção correspondente à parte final do controlo automático da bomba da CC1.

Os contadores visíveis na figura 4.23 são os elementos responsáveis por evitar a comutação rápida e constante do arranque e paragem da bomba, quando os valores dos sensores estiverem a variar próximos dos valores definidos nos *set-points*. O esquema consiste na ativação do contador zero (C0000) através de uma transição ascendente do *bit* 70.05. O contador está definido para contar até um e ativar um temporizador de 5 minutos que realizará o *reset* do próprio contador, assim, impõe-se ao sistema que, após ligado serão necessários 5 minutos para se poder desligar a

bomba. A mesma estratégia foi aplicada para o controlo dos ventiladores, através dos contadores presentes na figura 4.21.

Como a envolvente a climatizar possui alguma inércia, a temporização do arranque e paragem da bomba em 5 minutos, numa primeira fase, será suficiente. Com os dados experimentais será realizada uma parametrização dos valores de desvio e, só nessa altura, será vantajoso a programação do controlo da histerese pelos *offsets* de temperatura e humidade.

Por último, resta salientar que a programação das falhas constitui uma parte integrante do controlo. Foram configuradas as falhas nas cartas de entradas analógicas (*bits* I:2019.00 a I:2019.03, para o caso da carta 2010), sendo que, apenas o *bit* 200.00 presente na memória *W* (*work*), ativado através da HMI, pode realizar o *reset* das falhas referidas.

Posteriormente, e no caso específico dos transdutores de pressão, definiu-se que um erro na leitura do valor move o valor &2000 (correspondente a zero Pascal) para a entrada, permitindo que o controlo automático seja efetuado, tendo em conta este número. Desta forma, e tendo em conta que 5 Pa foi o valor definido de *set-point*, quando a entrada de pressão demonstrar erro o sistema de insuflação continuará a debitar ar, pois assumirá um valor de pressão diferencial de zero.

Em analogia ao referido anteriormente, uma falha no variador de frequência do ventilador ou bomba move o valor zero para a respetiva saída da carta analógica, como demonstrado na figura 4.24. O *reset* das falhas apenas se pode efetuar através da HMI por ativação de *bit* de memória *W*.

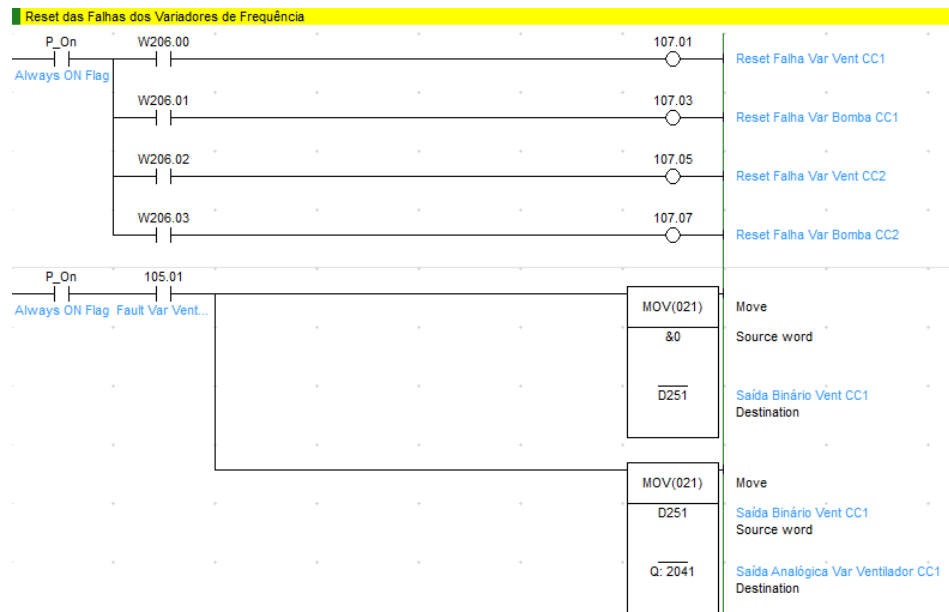


Figura 4.24 – Secção correspondente às falhas nas entradas da primeira carta analógica.

As botoneiras de emergência, dedicadas às respetivas centrais, efetuam o deslastre dos equipamentos a si afetos, sendo gerada uma sinalização intermitente no QE manual. O programa engloba ainda, a sinalização referente ao *run* e ao *fault* dos variadores, bem como um teste aos *leds* do QE manual.

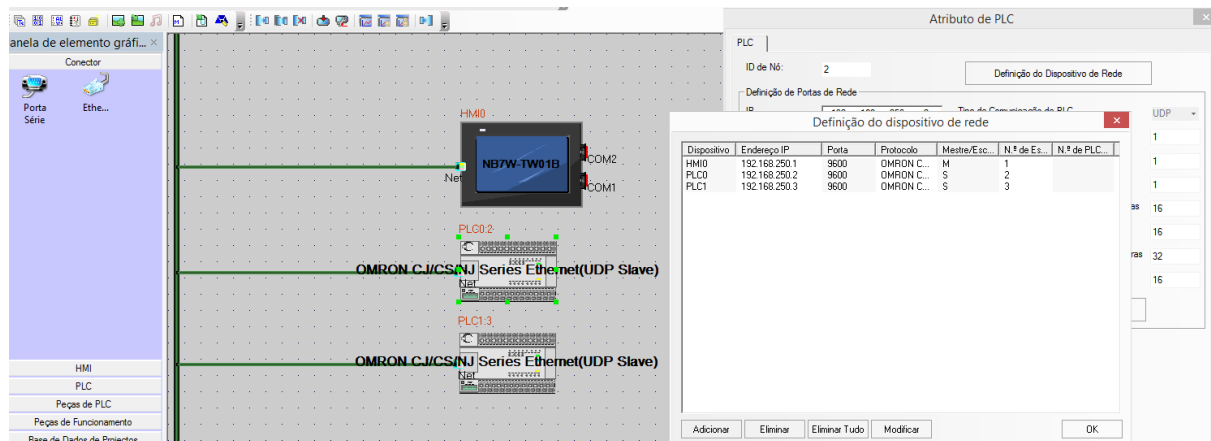
A programação referida até este ponto foi testada *off-line*, sem apresentar qualquer falha. Contudo, este controlo só será possível através da programação de uma consola de interface homem-máquina, que permita ao utilizador visualizar e agir sobre o sistema.

## 4.5 Interface Homem-Máquina

Em paralelo com a criação do programa de controlo no PLC, desenvolveu-se o programa responsável pela interface homem-máquina. Os *set-points* do sistema, a leitura dos sensores, o estado das avarias, entre outros, serão parâmetros visualizados na consola que foi programada por forma à sua perceção ser intuitiva.

A HMI utilizada representa um modelo da marca OMRON, com um *software* de programação próprio, *NB-Designer*, através do qual se criou a interface que permite atuação sobre o controlo do sistema.

Começou-se por identificar os dois elementos do sistema de controlo e a forma de comunicação entre elas. A figura 4.25, mostra o modelo dos equipamentos e a seleção de *Ethernet* como meio de comunicação, definindo-se a HMI como *master* e os restantes equipamentos como *slave*. A configuração dos endereços de IP é também alterável a partir da janela de atributos visível.



**Figura 4.25 – Janela de programação responsável pela definição do modo de comunicação.**

Na figura 4.25, é possível identificar dois autómatos. Isto deve-se ao facto de, embora o programa de controlo ter sido desenvolvido apenas para as CC 1 e 2, posteriormente, um segundo PLC comandará as centrais 3 e 4 com a mesma base de programação. Assim sendo, o programa da consola de interface foi desenvolvido tendo em conta o controlo de todo o salão.

A janela de atributos da HMI apresenta um conjunto de configurações para além das demonstradas para o PLC, principalmente no que diz respeito à segurança. O programa permite a criação de vários níveis de acesso, no entanto, definiu-se que para o sistema em questão apenas dois níveis de permissão seriam suficientes. O utilizador normal poderá visualizar o *layout* geral da consola, a leitura dos sensores e o estado de alarmes, podendo inclusive realizar o *reset* dos mesmos. O utilizador com nível de permissão de administrador terá acesso aos mesmos componentes que o utilizador normal tem, acrescentando o facto de poder atuar sobre o sistema, ou seja, poder redefinir valores de *set-points* e alternar o controlo entre o estado manual e automático.

Após esta definição das configurações básicas e do nível de acesso ao sistema, foi possível contruir o modelo presente na figura 4.26, que representa a janela principal da HMI. A janela principal foi construída tendo em mente que representa a primeira visualização do utilizador e por isso deve conter a informação mais relevante.



Figura 4.26 – Janela principal da consola (modo visualização). 1 – Cabeçalho de identificação da empresa; 2 – Faixa de seleção rápida de janelas; 3 – Identificação do login do administrador; 4 – Data e hora; 5 – Leitura dos valores dos sensores exteriores, 6 – Leitura dos valores correspondentes a cada central.

A interface abordada na figura 4.27 divide-se em seis partes principais.

- 1) *Cabeçalho da HMI* – Encontra-se presente em todas as janelas e a faixa de seleção rápida apenas não se encontra visível na janela *layout* por motivos que serão abordados adiante. Isto é possível através da configuração das páginas, em que o programa permite que existam janelas de fundo dentro da janela em criação. Em suma, o cabeçalho representa uma janela criada apenas para constituição do fundo de todas as restantes, para que a empresa seja sempre identificada na interface.
- 2) *Faixa de Seleção Rápida* – Criada a partir de botões de função, esta faixa representa uma janela elaborada como fundo e que permite navegar pelas

diferentes janelas da interface mediante o que se pretende visualizar. Importa salientar que é através desta faixa que se consegue aceder à janela de *login*.

- 3) *Identificação do Login* – Espaço reservado para visualização do estado de *login*. Sempre que o administrador realizar a entrada da sua palavra-passe, a palavra ‘Administrador’ aparecerá, automaticamente, escrita nesta área.
- 4) *Data e Hora* – Área reservada à informação do dia e hora.
- 5) *Leitura dos Valores dos Sensores Exteriores* – Nesta faixa da página principal serão apresentados os valores de temperatura e humidade exteriores, medidos pelos respetivos sensores.
- 6) *Leitura dos Valores dos Sensores Interiores* – Nesta faixa central da página principal serão apresentados os valores de temperatura, humidade e pressão diferencial interiores, medidos pelos respetivos sensores. Esta secção encontra-se dividida em 4 partes iguais representando as 4 centrais de climatização. Importa salientar que pressionando a área envolvente a cada central será aberta uma janela, presente na figura 4.27, inteiramente dedicada aos valores dessa secção.



Figura 4.27 – Janela de visualização dedicada à central 1.

Nesta secção é possível, mais uma vez, visualizar os valores lidos pelos sensores e além disso, é também nesta página que se podem verificar quais os valores definidos para os *set-points*, se o ventilador e a bomba se encontram em funcionamento ou em falha e o modo de controlo atual (manual ou automático).

Para visualização dos valores foi necessário configurar mostradores, que efetuam ligação com as áreas de memória do PLC e apresentam os dados conforme a configuração desejada. Foi ainda definido um *flash* vermelho, como forma de aviso quando os valores excederem a parametrização.

Os *set-points* encontram-se protegidos de modo a serem modificados apenas pelo utilizador “ita”, correspondente ao administrador. Só depois do *login*, é que o sistema permite alteração destes valores e a comutação para o estado manual.

A figura 4.28 ilustra um conjunto de possibilidades que o acesso ao nível de ‘Administrador’ permite, como a comutação manual para exercer o arranque ou paragem do ventilador e da bomba de água. No entanto, os valores introduzidos nos *set-points*, pelo administrador, têm de respeitar um determinado intervalo definido aquando da programação, caso contrário o sistema não permitirá a sua inserção. Isto permite uma segurança reforçada na alteração dos valores do sistema.



Figura 4.28 – Janela de visualização dedicada à central 1, com exemplo de alterações por parte do administrador e proibição por parte da HMI.

O botão de ação referente a *Layout* redireciona a visualização para um conjunto de quatro páginas, todas elas referentes a informações construtivas do sistema implementado. Estas páginas não contêm informação relativa a medições ou estados do sistema, apenas apresentam imagens que ajudam o utilizador a entender a forma

construtiva de todo o sistema de insuflação de ar. A figura 4.39 mostra a informação contida numa dessas páginas.

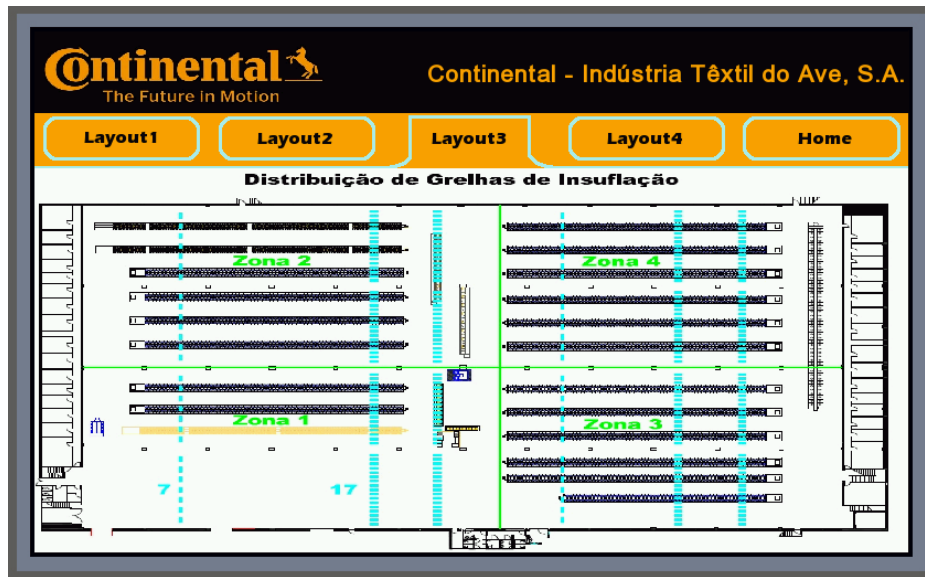


Figura 4.29 – Janela de layout 3: representação da distribuição das grelhas de insuflação

A interface apresentada não estaria completa sem uma janela que permitisse a visualização de alarmes e possibilitasse o seu *reset*. O modelo de HMI escolhido permite a criação de tabelas de eventos e alarmes em tempo real e até mesmo com armazenamento de histórico. Através da biblioteca de texto definiu-se a designação a atribuir às falhas apresentadas pelo programa e com o auxílio das etiquetas de endereço, visíveis na figura 4.30, associou-se o nome ao endereço do *bit* correspondente à falha.

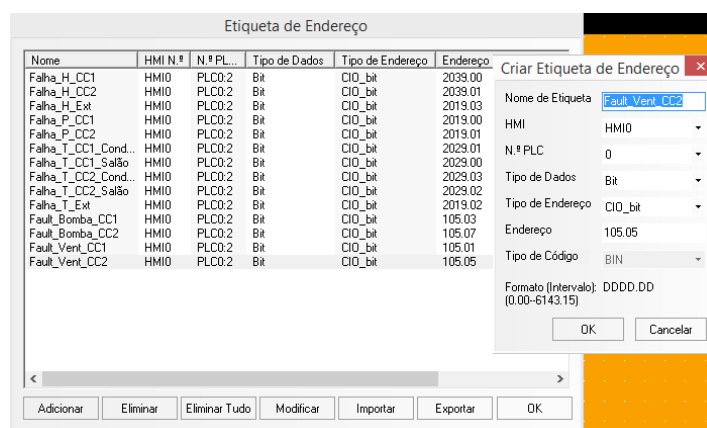


Figura 4.30 – Janela de etiquetas de endereço, com configuração de algumas falhas.



Por último, procedeu-se à elaboração da janela de amostragem dos alarmes, que possibilita ao utilizador base tomar conhecimento da falha, do momento em que ocorreu e em que é que consiste. É ainda possível tentar o *reset* desse mesmo erro, sendo que após a sua resolução será automaticamente limpo da lista de alarmes.

Cada botão nesta janela realiza a libertação de um *bit* específico no programa do PLC, que efetuará a limpeza de um conjunto de falhas. Por exemplo, se alguma falha acontecer na entrada da leitura de pressão diferencial da CC 1, quando houver tentativa de *reset* a este erro, o programa tentará libertar as falhas nas quatro entradas correspondentes à carta, mesmo que apenas uma tenha mostrado falha, desta forma, com um botão na consola, consegue-se limpar um conjunto de alarmes.

A janela “+ Info” é dedicada à amostragem do número de horas de trabalho dos equipamentos, para que se acompanhe o nível de desgaste dos rolamentos e se gere uma mensagem de alarme quando estes alcançam as 30.000 horas.

## 4.6 Implementação Sistema

Após a aquisição de todo o material a instalar, a programação do autómato e da HMI, reuniram-se as condições para que o sistema fosse implementado. Através de uma empresa de instalações elétricas e especificando os requisitos pretendidos do projeto iniciou-se a montagem.

De notar, que mesmo o sistema sendo referente às CC 1 e CC 2, uma vez que o orçamento para instalação total revelou-se demasiado elevado para adjudicação numa só fase, iniciou-se com a ligação de todos os componentes relacionados com a CC 1 e equipamentos de campo exteriores. Desta forma, tornou-se possível testar o sistema para uma central sabendo que se tudo fosse validado, o mesmo aconteceria para a outra. A figura 4.31 mostra a instalação dos equipamentos de campo dentro do salão da torcedura, na zona afeta à CC 1.



**Figura 4.32 – Equipamentos de medição CC 1. Esquerda – Transdutor de pressão; Centro – PT100; Direita – Sonda de humidade.**

As sondas exteriores foram colocadas na fachada do edifício, tal como pretendido e foi ainda montada uma PT100 na conduta de insuflação, logo à saída do ventilador. Toda a cabelagem foi encaminhada por áreas técnicas por forma a gerar a menor confusão possível dentro do salão até culminar no QE instalado no interior das CC. A figura 4.32 mostra o QE, à esquerda o aspeto exterior e à direita o seu interior.



**Figura 4.31 – QE instalado. Lado esquerdo – exterior com sinalização de presença das 3 fases e analisadores de energia ativos; Lado direito – Interior do quadro em fase de montagem.**

Em simultâneo com a montagem do QE de potência e controlo, foi instalado o QE de comando manual que contém a consola tátil de interface, para rapidamente ser feita a comunicação entre a HMI e o PLC. A comunicação entre estes equipamentos é feita através de *Ethernet*, com os endereços de IP mostrados na figura 4.25 do capítulo 4.5 e ligação a um *switch*.

À entrada das CC colocou-se a botoneira de emergência correspondente ao corte geral do quadro de alimentação que foi prontamente testada por ser um componente crucial. Próximo do QE manual, como mostra a figura 4.33, existem outras duas botoneiras de emergência, igualmente testadas, cada uma responsável pela paragem da respetiva CC.



Figura 4.33 – QE manual em funcionamento automático.

O controlo manual do ventilador de insuflação de ar fresco consiste, apenas na comutação que corta o esquema de programação automática e habilita o circuito correspondente à alteração manual. Posteriormente, o arranque e paragem do ventilador são conseguidos por atuação das botoneiras no QE ou pelos botões de função na HMI.

Para que não seja possível sobreposição de controlos, definiu-se que a comutação automático/manual presente no QE terá prioridade sobre a mesma comutação presente na HMI.

O controlo automático, após alguns ajustes na parametrização das cartas de saídas analógicas e correções nas ligações elétricas desenrolou-se conforme o previsto. A figura 4.34 ilustra a página referente ao controlo da CC1, durante a fase de testes.



Figura 4.34 – QE manual com HMI na página da CC1.

A leitura dos equipamentos de campo foi comprovada no local com aparelhos portáteis tendo a medição apresentado desvios desprezáveis. A figura 4.34 mostra ainda uma frequência de 50Hz para o ventilador o que seria de esperar uma vez que o valor real (0 Pa) se encontra distante do valor de *set-point* (5 PA). A bomba de água, contudo, encontra-se desligada uma vez que a leitura do sensor de humidade exterior se encontra em falha devido a um erro de ligação e desta forma a entrada analógica regista um valor entrada de 4200 pontos, o que corresponde, após *scalling*, a uma humidade de 105%HR no programa e desta forma é expectável que o mesmo ordene a paragem da bomba.

A figura 4.35, lado esquerdo, ilustra a página principal, com as várias leituras de temperatura, humidade e pressão. A mesma figura, lado direito, mostra a identificação das falhas pela HMI.

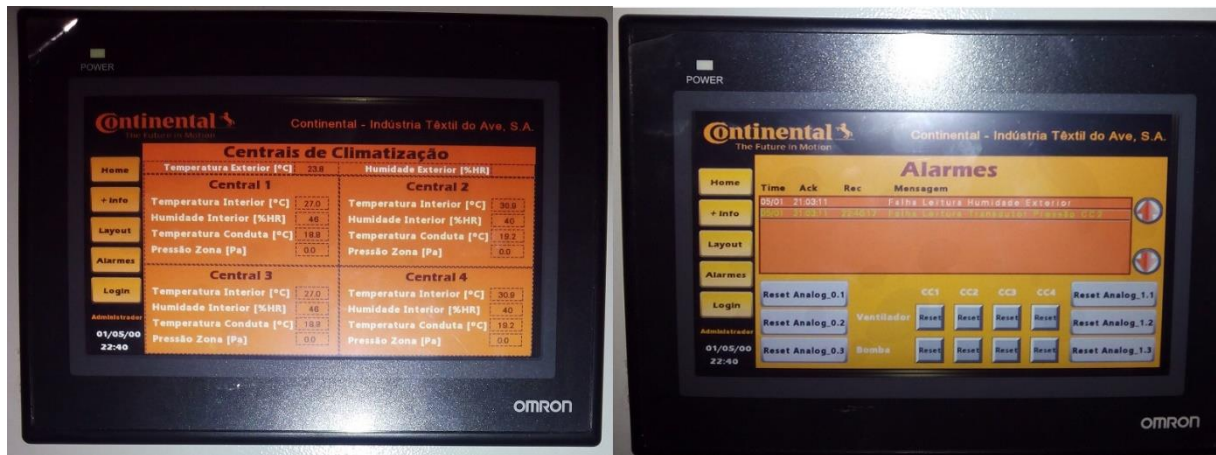


Figura 4.35 – HMI em funcionamento; Lado esquerdo – Página principal;  
Lado Direito – Página de alarmes

Por fim, foi corrigida a ligação das sondas de humidade e de alguns sinalizadores sendo que para este último caso, adicionou-se na HMI um botão de “teste de leds” para comprovar se todos os sinalizadores se encontram operacionais, a qualquer altura.

Em simultâneo com a instalação do controlo para a CC 1, desenvolveu-se a montagem da CC 2 faltando apenas a ligação aos variadores de frequência respetivos. Os resultados positivos na CC 1, após ajustes durante a fase de instalação, permitem avançar com segurança para a implementação do resto do sistema.



## 5 Conclusões

### 5.1 Satisfação de Objetivos

O principal objetivo deste projeto foi o desenvolvimento de um sistema de monitorização e controlo da insuflação de ar fresco e húmido, do salão da torcedura. No entanto, devido ao orçamento elevado e em conformidade com a empresa C-ITA decidiu-se realizar, numa primeira fase, apenas o controlo das centrais 1 e 2, com maior facilidade de instalação de equipamentos, por forma a comprovar-se a eficiência da solução adotada.

A solução proposta encontra-se implementada na CC1 e praticamente concluída na CC2. A fase de testes apresentou resultados positivos face ao controlo esperado e brevemente o sistema será colocado em modo automático, de forma contínua.

O conforto térmico na área de trabalho, especialmente em períodos noturnos foi aumentado e o sistema executa a gestão da ativação das bombas de água respeitando os *set-points* impostos a cada instante, comprovando-se longos períodos de bombas desativadas e respetiva poupança energética.

A introdução ao ambiente industrial constituiu um objetivo, a meu ver, plenamente conseguido através do contacto com diversos fornecedores, problemas práticos e orçamentos.

### 5.2 Conclusões Gerais

O salão da torcedura da C-ITA apresenta um elevado número de máquinas, que trabalham num regime quase ininterrupto, cada uma capaz de debitar grandes quantidades de calor, elevando a carga térmica no pavilhão. Para combater essa carga,

todos os torcedores são dotados de ventiladores de extração de ar quente, que removem grandes quantidades de ar da planta fabril.

Os equipamentos responsáveis pela insuflação de ar fresco, para compensação das exaustões, são as quatro centrais de climatização adiabáticas presentes nos extremos do salão, com ventiladores de 37 kW e bombas de água de 30 kW. O sistema capta ar novo, vindo do exterior e por arrefecimento evaporativo refresca e humidifica o ar antes de o libertar no salão.

O cálculo do IA para o sistema de arrefecimento abordado, na região em que se insere, indicou um valor positivo para a sua utilização. Contudo, quanto mais húmido for o ar de entrada, menor será a eficiência do processo e vice-versa, daí que, o potencial de poupança para o sistema, com um controlo adequado, é elevado, pois detetando condições exteriores ótimas do ar de entrada, as bombas de água não necessitam ser ligadas, não consumindo energia.

O controlo 100% manual do sistema apresenta falhas graves a nível energético bem como a nível de qualidade de trabalho no salão, principalmente pelo facto de não permitir a compensação, de forma correta e eficiente, da exaustão do salão.

Através do estudo alargado ao processo de arrefecimento evaporativo implementado e do registo das temperaturas e humidades exteriores para os meses mais frios, de outubro a março, comprovou-se que grande parte do tempo a bomba centrífuga de água não seria necessária, pois o ar exterior já reunia condições de humidade e temperatura suficientes para ser introduzido no salão.

Tendo em conta o preço médio mensal de energia, a potência da bomba centrífuga de uma central e os dados de temperatura e humidade retirados para o mês de novembro, concluiu-se que a poupança nesse mês, com a paragem da bomba, poderia ascender aos 1370€ para uma CC. O valor de poupança será maior em meses mais frios, em que a bomba poderá ficar desligada a maior parte do tempo, ou em períodos frios dentro de meses quentes.



O sistema idealizado possui alguns requisitos de medição em condições exteriores, desta forma, a aquisição de equipamentos de qualidade e corretamente dimensionados para a função torna-se imprescindível. Transdutores de pressão diferencial com um intervalo de medição curto, termoresistências e sensores de humidade com um índice de proteção elevado (IP66), são alguns exemplos de equipamentos instalados.

O programa de controlo idealizado permite uma gestão do ar insuflado de forma a gerar uma ligeira sobrepressão, que permite o arrasto de poeiras para fora do salão. O comando das bombas de recirculação de água foi idealizado com base em *set-points* de temperatura e humidade interiores e exteriores, por forma a obter-se a máxima eficiência energética.

Embora o investimento em equipamentos seja elevado, concluiu-se que o retorno do investimento pode ser inferior a um ano.

Finalmente, foram ainda averiguadas as condições gerais das centrais de climatização e comprovou-se que existe grande margem para novas melhorias do sistema, independentemente do controlo. Algumas medidas foram já implementadas, como a mudança da bomba de recirculação de água da central 2, no entanto, devido aos orçamentos elevados, propostas como a reparação das condutas que conduzem o ar fresco para o salão, ainda não foram implementadas. A reparação das condutas de insuflação reflete uma medida urgente a ser tratada para o aumento do rendimento de insuflação de ar na ordem dos 5 a 10% e o isolamento das mesmas aumentaria a eficiência em 2 a 3 °C, nos períodos do ano de maior calor.

### 5.3 Trabalhos Futuros

O sistema possui ainda muita margem de manobra para ser otimizado. A presente dissertação abordou a eficiência energética, mas o correto arranque e paragem das bombas ajudará também a uma poupança no consumo de água.

Foram efetuados estudos sobre o estado das condutas de insuflação de ar e sobre a permuta de calor no espaço técnico do sótão, que podem ser aprofundados de futuro para que o sistema de insuflação se torne mais rentável. O retorno de investimento terá

de ser estudado com maior detalhe por forma a sustentar as reparações e modificações. No entanto salienta-se desde já que uma substituição de partes das condutas é uma medida urgente a ter em consideração.

A inclusão dos valores dos analisadores de energia na consola de interface homem-máquina representa um ponto de interesse para o utilizador poder ter uma perceção direta do que está a ser consumido.

O registo das temperaturas e humidades é um ponto a ter em conta para uma análise da variação dos comportamentos térmicos interiores e exteriores ao longo dos anos.

Os valores lidos pelos acelerómetros, neste momento monitorizados por uma empresa externa, podem ser lidos na HMI do presente sistema aumentando assim a fiabilidade.

A bactéria da *legionella* coloniza equipamentos de refrigeração e outros que contenham água tépida (temperatura de água entre os 20°C e os 45°C, sendo o crescimento mais favorável entre os 35°C e 45°C) onde se multiplica. Uma estratégia de prevenção da *legionella* neste sistema é também um assunto a ter em conta, por exemplo através da medição da temperatura da água no tanque de recirculação.

## 6 Bibliografia

- [1] M. O. Marques, “Continental Mabor divulga Relatório e Contas de 2012,” 2013.
- [2] C. -. ITA, Manual de Segurança.
- [3] Auditene, Projetos e Auditorias Energéticas, Lda., “Auditoria Energética e Plano de Racionalização de Energia,” 2012.
- [4] Continental, “Tyre Basics - Passenger Car Tyres,” [Online]. Available: [http://www.conti-online.com/generator/www/au/en/continental/tyres/general/downloads/download/reifengrundlagen\\_en.pdf](http://www.conti-online.com/generator/www/au/en/continental/tyres/general/downloads/download/reifengrundlagen_en.pdf). [Acedido em 21 12 2015].
- [5] Quente e Frio, [Online]. Available: <http://www.quente-e-frio.info/sistemas-avac-o-conforto-da-climatizacao/>. [Acedido em 15 12 2015].
- [6] L. Roriz, Instituto Superior Técnico - Universidade Técnica de Lisboa, [Online]. Available: <http://web.ist.utl.pt/luis.roriz/MyPage/introClimatiza.swf>. [Acedido em 15 12 2015].
- [7] G. Carrossi, “Resfriamento Evaporativo: Estudo do pontencial de sua aplicação no Brasil,” Brasil: Universidade Federal de Uberlândia, Faculdade de Engenharia Mecânica., Brasil, 2006.
- [8] Ar Condicionado.org, “Conceitos do Ar Condicionado,” [Online]. Available: <http://www.arcondicionado.org/>. [Acedido em 21 12 2015].
- [9] ASHRAE, “HVAC System Analysis and Selection,” em *HVAC System & Equipment*, 2008.
- [10] J. Camargo, “Resfriamento evaporativo: poupando a energia e o meio ambiente.,” *Revista Ciências Exatas*, 69-75., 2003 - 2004.
- [11] ASHRAE, “Evaporative Cooling,” em *HVAC Applications*, 2007.
- [12] Richmueller, “D.I.Y. Inspired Evaporative Cooler Design for Remote Military Applications.,” 02 Abril 2012. [Online]. Available: <https://muellerdesignlab.files.wordpress.com/2012/04/how-evaporative-cooling-works.jpg>.

- [13] J. M. Pimenta e W. Castro, \“MODELAGEM E SIMULAÇÃO DE PAINÉIS EVAPORATIVOS DIRETOS,” Rio de Janeiro, 2004.
- [14] S. K. Wang, Handbook of Air Conditioning and Refrigeration, McGraw-Hill.
- [15] P. Palmer, Evaporative Cooling Design Guidelines Manual, 2002.
- [16] J. M. Pimenta e W. P. Castro, “Analysis of Diferent Applications of Evaporative Cooling Systems,” São Paulo, 2003.
- [17] COOL BREEZE AIR CONDITIONING, “The Psychrometric Chart: Evaporative Cooling as Read on the Psychrometric Chart,” [Online]. Available: <http://www.coolbreeze.co.za/psyevap.htm>. [Acedido em 10 Dezembro 2015].
- [18] Indoor Comfort Supply, “HVAC e Evaporative Cooling Parts and Supplies,” [Online]. Available: <http://indoorcomfortsupply.com>. [Acedido em 10 12 2015].
- [19] Munters, 10 12 2015. [Online]. Available: <https://www.munters.com/en/solutions/cooling/>.
- [20] Lechler, 10 12 2015. [Online]. Available: [http://www.lechler.de/Nozzle-Technology/General-Industry/Spray-character/-cbkhN\\_AAAByrQAAAE20IcKaE45-en\\_US](http://www.lechler.de/Nozzle-Technology/General-Industry/Spray-character/-cbkhN_AAAByrQAAAE20IcKaE45-en_US).
- [21] Coolair International, “O que é Arrefecimento Evaporativo do Ar,” [Online]. Available: <http://www.coolair.pt/pt/o-que-e-arrefecimento-evaporativo-do-ar->.
- [22] P. D. J. R. Camargo, “Sistemas de Resfriamento Evaporativo e Evaporativo-Adsorativo Aplicados ao Condicionamento do Ar,” 2003.
- [23] J. R. Camargo, J. S. Travelho e S. Cardoso, “Utilização do resfriamento evaporativo para conforto térmico humano em diversas cidades brasileiras,” Universidade de Taubaté, Departamento de Engenharia Mecânica, SP. Brasil, 2000.
- [24] Continental - ITA, *Planta Base do Salão 2 Piso 0 - Dimensões Retificadas*, 2015.
- [25] ASHRAE, “Why Evaporative Coolers Have Not Caused Legionnaires’ Disease,” em *ASHRAE-Conditioning Engineer Journal*, 1995.
- [26] CAS Data Loggers, “Should You Use Current or Voltage in Analog Transducer Readings?,” [Online]. Available: [http://www.dataloggerinc.com/content/files/technical/voltage\\_datalogger\\_current\\_datalogger\\_machinemonitoring.pdf](http://www.dataloggerinc.com/content/files/technical/voltage_datalogger_current_datalogger_machinemonitoring.pdf). [Acedido em 03 06 2016].
- [27] F. Fonseca, “Guia Técnico de Sonsdas de Temperatura,” Aveiro, 2015, pp. 10-12.
- [28] OMRON, “CJ2 CPU Unit Hardware User's Manual,” pp. 45-173.

- [29] CIN, “NORMA EN ISO 8501 - Protecção anticorrosiva de estruturas de aço por pintura,” 2011.
- [30] Fibrosom Materiais de Construção S.A., “Isolamentos Térmicos / Acústicos,” [Online]. Available: <http://www.fibrosom.com/ficheiros/pdfs/laderocha.pdf>. [Acedido em 29 05 2016].



## **7 ANEXOS**

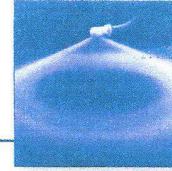
## ANEXO A: Atomizadores Utilizados

Ficha técnica dos atomizadores aplicados nas centrais de climatização.

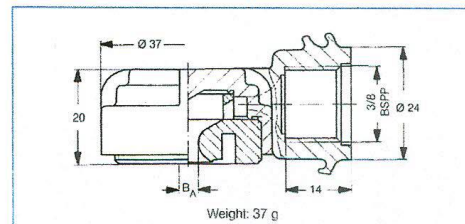




### Tangential-flow hollow cone nozzles

#### Series 350



**High-performance eccentric spray nozzles for air-conditioning. Narrow drop spectrum and extremely uniform distribution of liquid over the entire spray pattern.**  
Applications:  
Humidification of air in air washers, dust control, spraying onto filters, foam control.

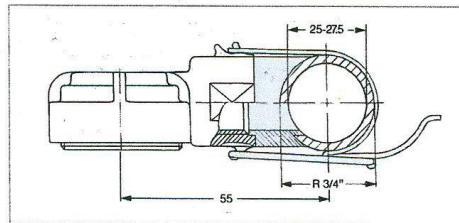


Spray angle 	Ordering no.		B Ø [mm]	E Ø [mm]	$\dot{V}$ [l/min]										Spray diameter D at p=2 bar 	
	Type	Mat- Nr.			p [bar]      p <sub>max</sub> : 20 bar											
															56	
					POW	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	7.0	10.0	H = 250 mm	H = 500 mm		
130°	350. 368	○	1.55	0.70	0.32	0.45	0.63	0.77	1.00	1.18	1.41	1120	2000			
	350. 608	○	5.00	1.40	1.58	2.23	3.15	3.86	4.98	5.89	7.04	1140	2100			

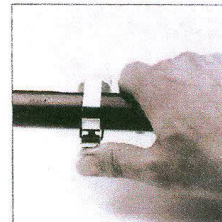
B = bore diameter · E = narrowest free cross section

Example for ordering: Type 350. 368 + Material no. 56 = Ordering no. 350. 368. 56

#### Accessories



Quick snap clamp unit · **Ord.-no.: 035. 030. 15. 05. 00. 0**  
consisting of: Stainless steel clamp and  
polyurethan gasket



Bore-ø: 18 mm

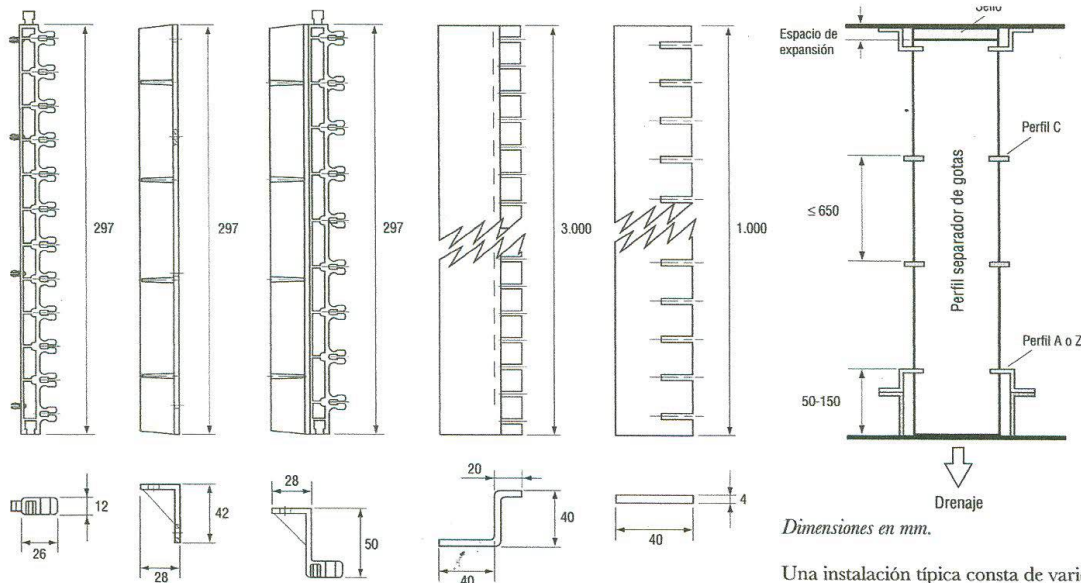
Conversion formula for the above series:  $\dot{V}_0 = \dot{V}_1 \cdot \sqrt{\frac{p_2}{p_1}}$

2.11



## ANEXO B: Separadores de Gotas Utilizados

Ficha técnica dos separadores de gotículas em funcionamentos nas centrais.



Dimensiones en mm.

Una instalación típica consta de varios perfiles separadores de gotas colocados unos junto a otros. Los perfiles de montaje se usan para garantizar que haya el espaciado correcto entre los perfiles separadores de gotas y que la unidad del separador de gotas sea estable.

Para evitar el arrastre, todos los espacios entre la unidad del separador de gotas y el conducto debe sellarse cuidadosamente. El perfil de montaje y el perfil separador de gotas deben ser del mismo material.

### Especificaciones técnicas

Tipo	Espaciado mm	Código de material	Longitud* mm	Color	Temperatura máxima de funcionamiento °C	Peso kg/m	Coefficiente de expansión térmica 10 <sup>-6</sup> ·K <sup>-1</sup>
C	20, 25, 30, 33	PPTVb	297	negro	80**	0,12	150
A	00	PPTVb	297	negro	80**	0,21	150
AC	33	PPTVb	297	negro	80**	0,33	150
Z	20, 25, 30, 33	PPTVw	3.000	blanco	80**	0,39	150
SL	20, 25, 30, 33	PP	1.000	gris claro	80**	0,16	150
	20, 25, 30, 33	PVC	1.000	gris oscuro	50	0,22	80
	20, 25, 30, 33	PVDF	1.000	natural	110	0,28	140
	20, 25, 30, 33	Al	1.000	—	—	0,42	24
	20, 25, 30, 33	SS	1.000	—	—	1,26	16

PPTV = Polipropileno reforzado con talco

PP = Polipropileno

PVC = Cloruro de polivinilo

PVDF = Difluoruro de polivinilo

Al = AlMgSi 0,5

SS = AISI 316 Ti

\*Tolerancia de longitud ±3% a 20 °C.

\*\*No usar durante mucho tiempo a más de 100 °C.

Los perfiles de montaje se desarrollan y producen en Munters Euroform GmbH, Alemania.

### Información sobre pedidos

Tipo-X-X-X  
Espaciado \_\_\_\_\_  
Material \_\_\_\_\_  
Número de perfiles \_\_\_\_\_  
p. ej., C-25-PPTVb-25



Munters Europe AB, HumiCool Division, Kung Hans Väg 8, P O Box 434, SE-191 24 Sollentuna, Suecia. Teléfono +46/(0)8/626 63 00, Fax +46/(0)8/754 56 66.

Munters Euroform GmbH, Süsterfeldstrasse 65, PO Box 1089, DE-52011 Aachen, Alemania. Teléfono +49/(0)241/89 00 0, Fax +49/(0)241/89 00 199.

www.munters.com

**Austria** a través de la oficina comercial de Alemania. Munters Euroform GmbH, Teléfono +49/(0)241/89 00 0, Fax +49/(0)241/89 00 199. **Dinamarca** a través de la oficina comercial de Suecia. Munters Europe AB, Teléfono +46/(0)8/626 63 00, Fax +46/(0)8/754 56 66.

**Finlandia** Munters Oy, Teléfono +358/(0)9/83 85 030, Fax +358/(0)9/83 85 036. **Francia** Munters France S.A., Teléfono +33/(0)1/41 19 24 51, Fax +33/(0)1/41 19 00 17. **Alemania** Munters Euroform GmbH, Teléfono +49/(0)241/89 00 0, Fax +49/(0)241/89 00 199. **Italia** Munters S.R.L., Teléfono +39/(0)2/488 6781, Fax +39/(0)2/488 1171, Munters euroimpe S.p.A., Teléfono +39/(0)183/52 11, Fax +39/(0)183/52 333.

**Arabia Saudí y el Oriente Medio** Hawa Munters, c/o Hawa United Cooling Syst. Co. Ltd., Teléfono +966/(0)1/477 15 14, Fax +966/(0)1/476 09 36. **Noruega** a través de la oficina comercial de Suecia. Munters Europe AB, Teléfono +46/(0)8/626 63 00, Fax +46/(0)8/754 56 66. **Sudáfrica y Sub-Sahara** Munters (Pty) Ltd, Teléfono +27/(0)11/455 2550/1/2, Fax +27/(0)11/455 2553. **España** Munters Spain S.A., Teléfono +34/(0)1/640 09 02, Fax +34/(0)1/640 11 32. **Suecia** Munters Europe AB, Teléfono +46/(0)8/626 63 00, Fax +46/(0)8/754 56 66. **Suiza** a través de la oficina comercial de Alemania. Munters Euroform GmbH, Teléfono +49/(0)241/89 00 0, Fax +49/(0)241/89 00 199.

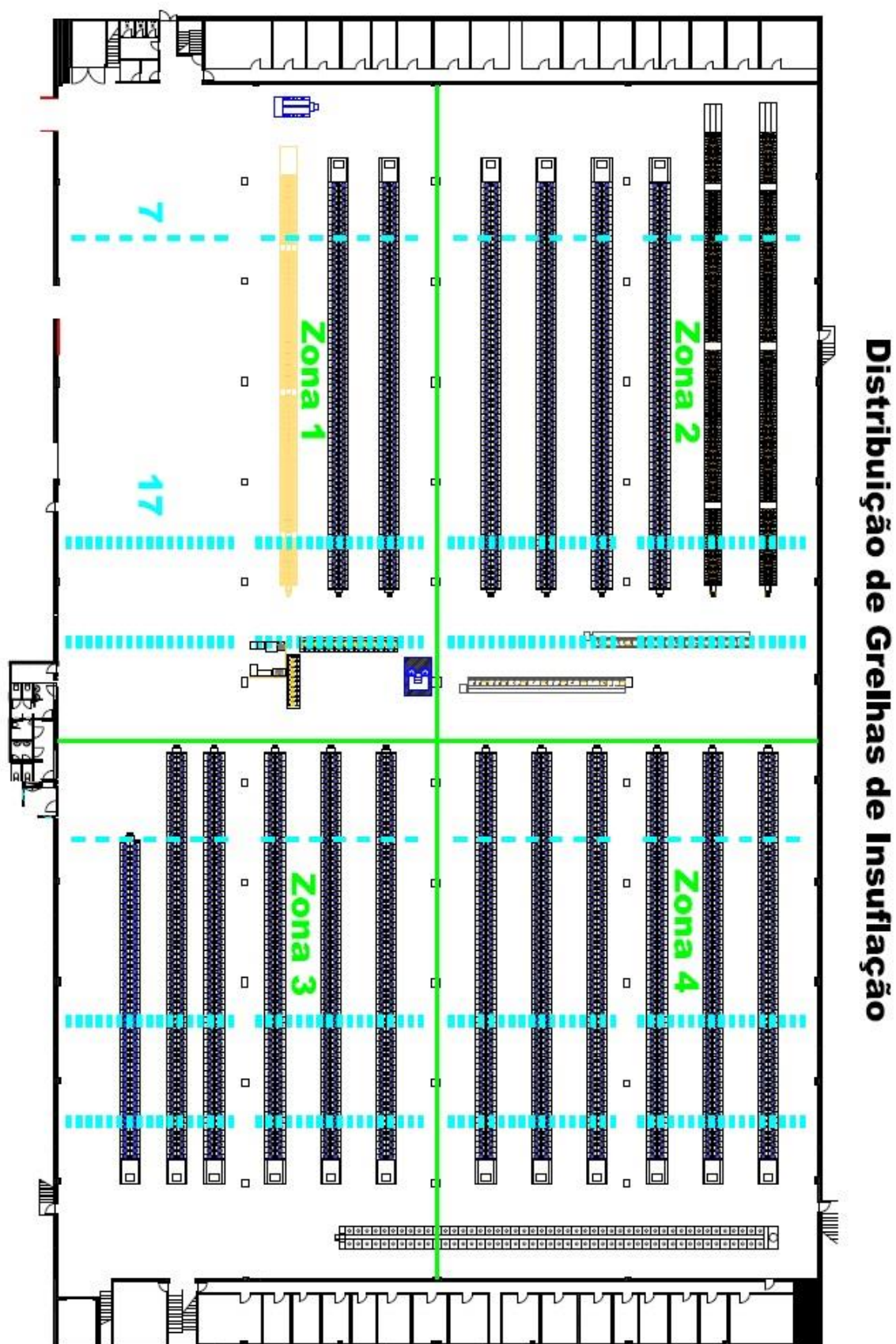
**Inglaterra** Munters Ltd, Teléfono +44/(0)1490/442 340, Fax +44/(0)1490/411 332. **Exportación y otros países** Munters Europe AB Teléfono +46/(0)8/626 63 00, Fax +46/(0)8/754 56 66. **Region de América** Munters Corporation, Teléfono +1/(0)978 241 1100, Fax +1/(0)978 241 1214. **Region de Asia** Munters K.K., Teléfono +81/(0)3/5970 0021, Fax +81/(0)3/5970 3197.

Munters se reserva el derecho de efectuar modificaciones en las especificaciones, cantidades, etc., después de la publicación por razones de producción u otras.

© Munters Europe AB, 2001

## ANEXO C: Distribuição das Grelhas de Insuflação

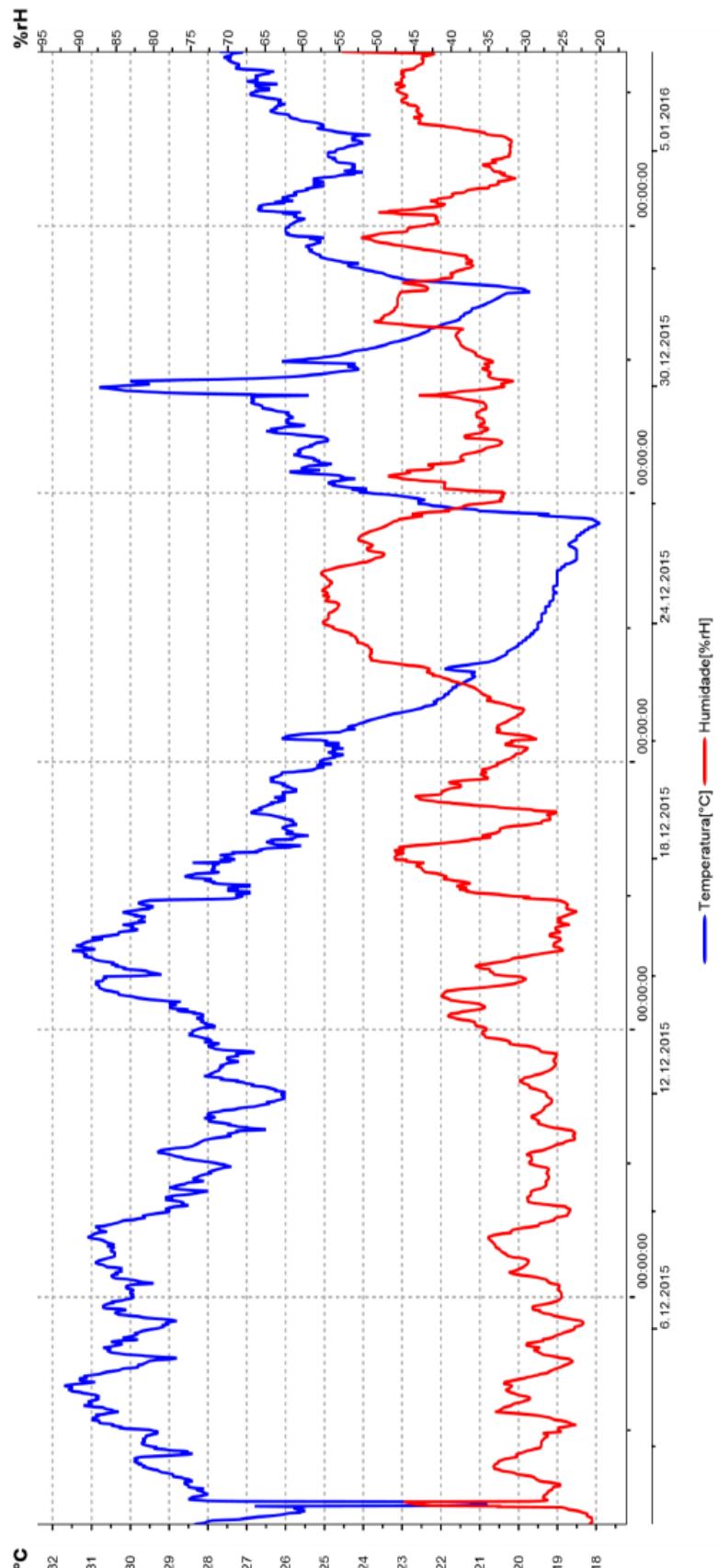
Recolha feita no local e desenho elaborado para perceção da distribuição.



## ANEXO D: Gráficos T&H Registadas

Gráficos de Temperatura e Humidades registadas pelo termo higrómetro interior.

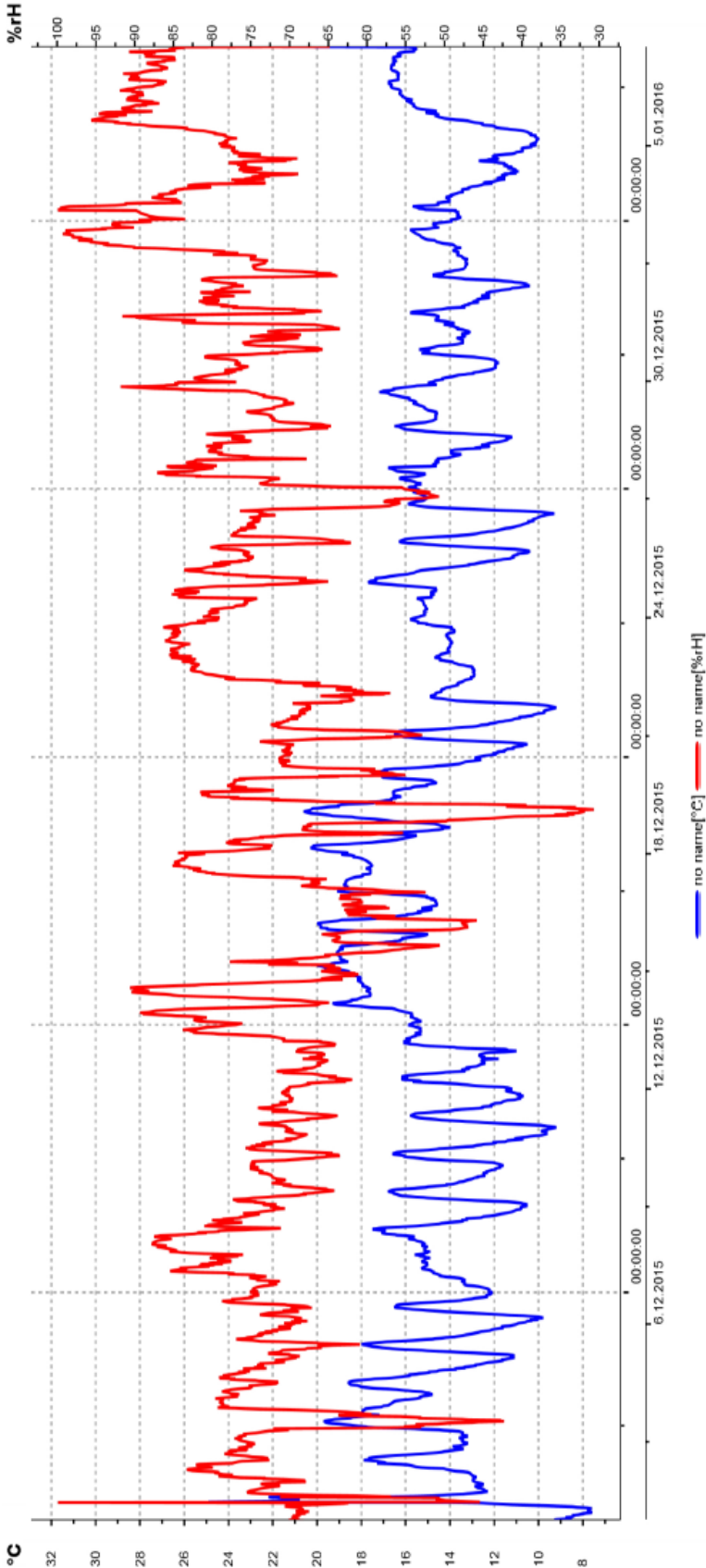
Instrument name: Teste		08-01-2016 13:34:54		Page	1/1
Start time: 05-10-2015 15:39:00				Mean value	Limit values
End time: 08-01-2016 13:19:00	Temperatura [°C]	Minimum	Maximum	27,89	20,0/50,0
Measurement channels: 2	Humidade [%rH]	20,00	92,00	35,54	30,0/75,0
Measured values: 6837					
36907880					





Gráficos de Temperatura e Humidades registadas pelo termo higrómetro exterior.

Instrument name:		08-01-2016 13:44:58			Page	1/1
Start time: 05-10-2015 15:45:00				Minimum	Mean value	Limit values
End time: 08-01-2016 13:25:00	no name [°C]			7,50	16,18	2,0/40,0
Measurement channels: 2	no name [%rH]			30,70	71,83	30,0/85,0
Measured values: 6837						
36907881						



## ANEXO E: Transdutor Pressão Diferencial

Ficha técnica das características do transdutor de pressão diferencial escolhido.



### Technical Data Sheet

Pressure / Temperature / Humidity / Air Velocity / Airflow / Sound level



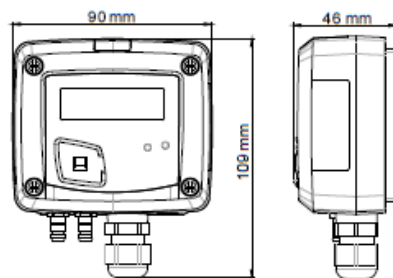
## Differential pressure transmitter CP 111 – CP 112 – CP 113

### KEY POINTS

- Ranges from -100/+100 Pa to -10000/+10000 Pa (according to models)
- Configurable intermediary ranges
- 0-10 V or 4-20 mA output, active, power supply 24 Vac/Vdc (3-4 wires) or 4-20 mA output, passive loop, power supply from 16 to 30 Vdc (2 wires)
- ABS V0 housing, IP65, with or without display
- "¼ turn" system mounting with wall-mount plate
- Housing with simplified mounting system
- Solenoid valve for auto-calibration (only on CP111 model)



### FEATURES OF THE HOUSING



**Material :** ABS V0 as per UL94  
**Protection :** IP65  
**Display :** LCD 10 digits. Size : 50 x 17 mm  
**Height of digits :** Value : 10 mm ; Unit : 5 mm  
**Connections :** ribbed, Ø 6.2 mm  
**Cable gland :** for cables Ø 8 mm maximum  
**Weight :** 143 g

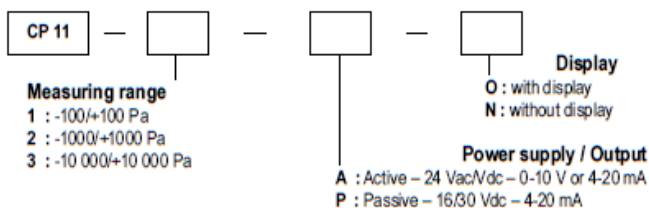
### TECHNICAL FEATURES

Measurement units	Pa, mmH <sub>2</sub> O, inWG, mmHG, daPa, kPa, hPa, mbar
Accuracy*	<b>CP111</b> : ±1% of reading ±2 Pa ; <b>CP112</b> : ±1.5% of reading ±3 Pa ; <b>CP113</b> : ±1.5% of reading ±3 mmH <sub>2</sub> O
Response time	1/e (63%) 0.3 s
Resolution	1 Pa ; 0.1 mmH <sub>2</sub> O ; 0.01 mbar ; 0.01 inWG ; 0.01 mmHG ; 0.1 daPa ; 0.001 kPa
Autozero	Manual with push-button ; Automatic by solenoid valve (only on CP111 model)
Type of fluid	Air and neutral gases
Overpressure tolerated	<b>CP111/112</b> : 21 000 Pa – <b>CP113</b> : 69 000 Pa
Operating temperature	From 0 to +50 °C
Storage temperature	From -10 to +70 °C

\*All the accuracies indicated in this technical datasheet were stated in laboratory conditions, and can be guaranteed for measurements carried out in the same conditions, or carried out with calibration compensation.

### PART NUMBER

To order, just add the codes to complete the part number :



#### Example : CP 113 – AO

Pressure transmitter measuring range -10 000/+10 000 Pa, 0-10 V or 4-20 mA active, with display

## ANEXO F: Sensor de Humidade Sauter

Ficha técnica das características dos sensores de humidade relativa escolhidos.

Product data sheet		34.120
<b>EGH 120, 130: Room transducer, relative humidity and temperature</b>		
<b>How energy efficiency is improved</b>		
Precise measuring of humidity for energy-efficient control of HVAC installations		
<b>Features</b>		
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Measurement by means of fast capacitive sensor</li> <li>• Active measuring element</li> <li>• Suitable for fitting directly to walls</li> <li>• Converts the measured values into a continuous analogue signal (0...10 V or 4...20 mA)</li> </ul>		
<b>Technical data</b>		
<b>Power supply</b>		
	Power supply	15...24 V= (±10%) or 24 V~ (±10%)
<b>Parameters</b>		
Relative humidity	Measuring range	0...100% rh, no condensation
	Measuring accuracy	±2% between 10...90% rh (typ. at 21 °C)
Temperature	Measuring range	0...50 °C
	Measuring accuracy	±0.5 °C (typ. at 25 °C)
<b>Ambient conditions</b>		
	Admissible ambient temperature	-20...70 °C
<b>Construction</b>		
	Housing material	ASA
	Housing	Pure white
	Connection terminals	Screw terminals, max. 1.5 mm <sup>2</sup>
	Weight	80 g
<b>Standards and directives</b>		
	Type of protection	IP30 (EN 60529)
CE conformity according to	EMC Directive 2014/30/EU	EN 60730-1 (mode of operation 1, residential premises)
	RoHS Directive 2011/65/EU	EN 50581
<b>Overview of types</b>		
Type	Output signal	Power consumption
EGH120F041	2 x 4...20 mA	Max. 1 W (24 V=)
EGH130F031	2 x 0...10 V	Max. 0.3 W (24 V=)   0.5 VA (24 V~)



EGH1\*0F0\*1



### Description of operation

Room transducer (surface-mounted) for measuring the relative humidity and temperature in residential premises, offices etc.

#### Humidity measurement:

A fast capacitive sensor measures the relative humidity and a measuring amplifier converts it to a 0...10 V or 4...20 mA standard signal.

#### Temperature measurement:

A sensor measures the temperature and a measuring amplifier converts it to a 0...10 V or 4...20 mA standard signal.

#### Intended use

This product is only suitable for the purpose intended by the manufacturer, as described in the "Description of operation" section.

All related product regulations must also be adhered to. Changing or converting the product is not admissible.



## ANEXO G: Glossário Técnico

- Temperatura Bolbo Seco – Diz respeito à temperatura medida com um termómetro comum.
- Temperatura Bolbo Húmido – É a temperatura mais baixa que pode ser alcançada apenas pela evaporação da água. Ao contrário da temperatura de bolbo seco, a temperatura de bolbo húmido é uma indicação da quantidade de humidade no ar.
- Calor Sensível – É definido como a quantidade de calor que provoca apenas a alteração da temperatura do sistema, através da energia cinética adquirida pelos movimentos de translação, rotação e vibração dos átomos e moléculas do sistema.
- Calor Latente – Definido como a necessidade de cedência ou remoção de energia térmica para a alteração da coesão molecular (forças de ligação intermoleculares) de modo a provocar uma mudança de estado do sistema.
- Processo Adiabático – Princípio geral de não existir transferência de calor. Este processo ocorre quando num sistema isolado atravessa uma quantidade insignificante e desprezável de calor pela sua fronteira ou no caso de o sistema e vizinhança apresentam a mesma temperatura não havendo portanto, transferência de calor entre eles.
- Condutibilidade térmica ( $\lambda$ ) – Expressa a quantidade de calor que atravessa, na unidade de tempo, uma superfície de área unitária, para uma diferença unitária de temperatura entre essa superfície e outra situada a uma distância unitária. A condutibilidade térmica varia com a densidade, com o teor em humidade e com a temperatura do material. As unidades em que esta grandeza está expressa são  $W/m.^{\circ}C$  ou  $W/m.^{\circ}K$ .
- Coeficiente Global de Transferência de Calor ( $U$ ) – (igual ao Coeficiente de Transmissão Térmica,  $K$ ) e igual ao inverso da Resistência Térmica Total ( $R_t$ ).